

8/2013

Veranstaltungen

Kolloquium

Geodätische Arbeiten für Bundeswasserstraßen

5./6. Februar 2013 in Koblenz

Koblenz, August 2013

Impressum

Herausgeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
Postfach 20 02 53
56002 Koblenz
Tel.: +49 (0)261 1306-0
Fax: +49 (0)261 1306 5302
E-Mail: posteingang@bafg.de
Internet: <http://www.bafg.de>

Druck: Druckerei Fuck, Koblenz

ISSN 1866 – 220X

DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2013.8

URL: http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst8_2013.pdf

Zitiervorschlag:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Geodätische Arbeiten für Bundeswasserstraßen. Kolloquium am 5./6. Februar 2013 in Koblenz. – Veranstaltungen 8/2013, Koblenz, August 2013, 96 S.; DOI: 10.5675/BfG_Veranst_2013.8
URL: http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst8_2013.pdf

Inhalt

Einführung.....	4
Schwerpunkte des Referats Geodäsie in den letzten 35 Jahren	
Joachim Behrens	5
Geodäsie und Pegel – Gestern und heute	
Astrid Sudau und Robert Weiß	20
Zukunfts- und WSV-orientierte Entwicklungen zur Bereitstellung geotopographischer Produkte	
Herbert Brockmann	33
Anforderungen der WSV an die geodätischen Arbeiten der BfG	
Michael Heinz	43
Trends in der Seevermessung und den nautischen Informationen	
Thomas Dehling	49
Schleusenbaustellen unter messtechnischer Aufsicht – das richtige Maß	
Joachim Saathoff.....	54
Vermessungswesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes – eine Positionsbestimmung	
Dirk Jacke	61
Die Realisierung des amtlichen Raumbezugs als Basis für großräumige Nutzer	
Cord-Hinrich Jahn	70
Eine neue Ära der Zentimeter-genauen GNSS-Positionsbestimmung	
Lambert Wanninger	80
Die Zukunft der geodätischen Absteckung von Bauwerken	
Thomas A. Wunderlich	83
Einsatz innovativer Sensoren in der Geodäsie	
Andreas Eichhorn.....	89

Einführung

Geodätische Daten werden bei nahezu allen Arbeiten zum Ausbau, Betrieb und zur Unterhaltung der Bundeswasserstraßen benötigt. Das Kolloquium stellte die hierfür erforderlichen geodätischen Tätigkeiten und Produkte aus verschiedenen Perspektiven vor.

Zunächst präsentierte das Referat Geodäsie die BfG-Arbeiten im Überblick sowie aktuelle Entwicklungen, insbesondere aus den Bereichen Geodätische Referenzsysteme, Geokinematik, Gewässer- und Objektvermessung sowie Geotopographie. Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) formulierte ihre Anforderungen an die Geodäsie. Von der Bundesanstalt für Wasserbau und dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie wurde die Unterstützung der WSV bei geodätischen Fragestellungen beispielhaft vorgestellt. Seitens des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung wurde eine Positionsbestimmung vorgenommen und so der Bogen geschlossen zu den beiden Themenkomplexen am zweiten Tag der Veranstaltung: der nationalen und internationalen Zusammenarbeit sowie der aktuellen geodätischen Forschung.

Im Mittelpunkt stand dann die Vernetzung der deutschen Geodäten innerhalb der EU sowie die Zusammenarbeit der Vermessungsdienststellen von Bund und Ländern. Abgerundet wurde die Veranstaltung mit Vorträgen aus dem universitären Bereich zu neuen Richtungen und Techniken in der geodätischen Forschung.

Mit dem Kolloquium wurde zugleich Joachim Behrens in den Ruhestand verabschiedet. Er war seit 1977 in der BfG tätig und übernahm von Mai 1988 bis Februar 2013 die Leitung des Referates Geodäsie.

Schwerpunkte des Referats Geodäsie in den letzten 35 Jahren

Joachim Behrens

1 Einleitung

Seit 1. August 1977 bin ich in der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zunächst als wissenschaftlicher Mitarbeiter, nach rund einem Jahr als Beamter in der damaligen Fachgruppe „Vermessungswesen“ tätig. Zum 1. Mai 1988 übernahm ich die Fachgruppenleitung und wurde durch die BfG-Umorganisation zum 1. August 1990 Leiter des Referates M5 „Geodäsie“. Mit der Wiedervereinigung Deutschlands am 03.10.1990 und der damit verbundenen Einrichtung der BfG-Außenstelle Berlin wurde das Referat M5 durch den Fachbereich AB 23 „Geodäsie“ personell bis Ende Januar 1995 verstärkt, um die vermessungstechnischen Basisarbeiten, hier vorrangig die Durchführung der Hauptnivellements an den Bundeswasserstraßen, zur Vervollständigung des WSV-Höhengrundlagenetzes für Aus- und Neubaumaßnahmen in den neuen Bundesländern bereitzustellen.

In den über 35 Jahren meiner Zugehörigkeit zur BfG gab es – abgesehen von der 1995 begonnenen Reform der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) – vor allem die Aufgaben erledigung durch das Referat „Geodäsie“ für die WSV mit wechselnden Schwerpunkten, geprägt durch den **rapiden technologischen Fortschritt mit Gerätereueentwicklungen** und direkte Auswirkungen auf den „**Stand der Technik**“. Die zuvor genannten Hauptnivellements behielten eine wesentliche Bedeutung, aber das geodätische Aufgabenspektrum wurde zunächst durch die Gewässervermessung (WSV-Peilwesen) ab etwa 1950, Anfang der 70er-Jahre durch die Objektvermessung und seit 1995 im Bereich der Geotopographie deutlich erweitert. Diese Fachgebiete spiegeln die Referatsstruktur wider. Einige wesentliche Schwerpunkte während meiner Amtszeit sollen im Kapitel 2 näher dargestellt werden.

Die **Bundeswasserstraßen (BWaStr)**, gegliedert in Seewasser- und Binnenwasserstraßen, und deren regionale Umgebung sind die Hauptarbeitsfelder für die geodätischen Tätigkeiten. Die BWaStr sind unterteilt in frei fließende (35 %) und staugeregelte (41 %) Wasserstraßen sowie Kanäle (24 %) bei einer Gesamtlänge von rund 7.300 km. Im Artikel 89 des Grundgesetzes ist im Wesentlichen (auszugsweise) angesprochen, dass „der Bund Eigentümer der bisherigen Reichwasserstraßen ist“, „der Bund die BWaStr durch eigene Behörden verwaltet“, und der Bund entsprechende „staatliche Aufgaben wahrnimmt, die über den Bereich eines Landes hinausgehen“.

Mit den zitierten „eigenen Behörden“ sind die Dienststellen der WSV gemeint, deren Aufgaben sind vor allem:

- > Unterhaltung der BWaStr: Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustands für den Wasserabfluss und Aufrechterhaltung der Schiffbarkeit
- > Betrieb und Überwachung der Schifffahrtsanlagen (z. B. Schleusen, Wehre)
- > Baumaßnahmen an den BWaStr
- > Strompolizei und Schifffahrtspolizei
- > Betreiben von Schifffahrtszeichen (z. B. Leuchtfeuer, Tonnen, Signale)
- > Wasserstands- und Hochwassermelddienst
- > Schiffseichung und Schiffsuntersuchung
- > Vermessungs- und Liegenschaftsverwaltung (einschl. Kartenwesen).

Die **Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)** ist eine im Geschäftsbereich des Bundesministers für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) eingerichtete Bundesoberbehörde mit Sitz in Koblenz. Im Rahmen einer interministeriellen Vereinbarung arbeitet die BfG zugleich auch für den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Die BfG ist das wissenschaftliche Institut des Bundes für die Forschung, Begutachtung und Beratung auf den Gebieten: Gewässerkunde, Wasserbewirtschaftung, Ökologie und Gewässerschutz. Die BfG berät die Bundesministerien und deren nachgeordnete Dienststellen in Grundsatz- und Einzelfragen (insbes. § 45 (3) Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG)).

Da die **geschichtliche Entwicklung der BfG** einen Ursprung im ehemaligen Preußen hat, und auch die Aufgaben des Referats M5 „Geodäsie“ seitdem sehr geprägt hat, werden die wesentlichen Meilensteine kurz erwähnt. Am 1. April 1891 wurde in Berlin das Preußische Büro für Hauptnivelements und Wasserstandsbeobachtungen institutionalisiert (BEHRENS & KUHR 1991). Neben der Durchführung von Hauptnivelements wurden auch die preußische Pegelvorschrift und die zugehörigen Verwaltungs-/Verfahrensvorschriften erarbeitet. 1902 wurde die Preußische Landesanstalt für Gewässerkunde (ohne Nivelements- und Pegelarbeiten!) eingerichtet. Erst 1927 erfolgte die Zusammenführung zur Landesanstalt für Gewässerkunde und Hauptnivelements. 1948 bzw. 1949 wurde in Bielefeld die Forschungsanstalt für Gewässerkunde gegründet, dann umbenannt in Bundesanstalt für Gewässerkunde. Seit 1952 ist der Sitz der BfG in Koblenz.

2 Aufgaben des Referats M5 „Geodäsie“

Die Referatsaufgaben sind von grundsätzlicher Art, gegliedert in die **Tätigkeitsfelder**:

- > konzeptionelle Vorgaben für die WSV
- > angewandte Forschung und Entwicklung
- > fachtechnische Beratungen, Gutachten, Stellungnahmen
- > zentrale Arbeiten (Auftragsbearbeitung)
- > Aus- und Fortbildung für WSV-Personal
- > Mitarbeit in nationalen/internationalen Gremien, Ausschusstätigkeiten
- > Lehre an Universitäten oder Hochschulen

Das Referat „Geodäsie“ (seit 08/1990) gliedert sich in die derzeitigen **Teilbereiche (mit Ansprechpartnern)**:

M51	Geodätische Referenzsysteme, Geokinetik	(Frau VOR'in Dr.-Ing. A. Sudau)
M52	Gewässer- und Objektvermessung	(Herr VOR H. Wirth)
M53	Geotopographie	(Herr TROR H. Brockmann)

Die personelle Ausstattung mit 5 höheren, 2,5 gehobenen und 2 mittleren Dienstposten ist viel zu knapp bemessen, so dass derzeit der Bereich Objektvermessung (mit sehr hoch-prioritärer fachlicher WSV-Anforderung) wegen fehlenden Personals nicht bearbeitet werden kann. In der Gewässervermessung und in der Geotopographie sind vier externe Projektbearbeiter beauftragt, um umfangreiche Vergabearbeiten zu kontrollieren und die WSV-Datenbanken zu aktualisieren.

2.1 Geodätische Referenzsysteme, Geokinetik

Die **Durchführung der Hauptnivellements an den BWaStr** ist zur Vorhaltung eines aktuellen Höhengrundlagenetzes für die WSV seit jeher von elementarer Bedeutung. Hinzu kommt heute die intensive wissenschaftliche Nutzung der Messergebnisse für Landhebungen bzw. -senkungen für korrekte Aussagen mittels Pegelinformationen (BEHRENS et al. 1981).

Entlang der rd. 7.300 km BWaStr werden Nivellements über ca. 20.000 km Länge ausgeführt. Dabei sind Baumaßnahmen, Höhenveränderungen und -aktualität regional zusammenhängender BWaStr-Gebiete prioritäre Veranlassungen für Messanforderungen. Ab 1987 wurden die örtlichen Arbeiten durch die BfG in Abstimmung mit den WSV-Dienststellen fast ausschließlich vergeben.

Wesentliche BfG-Projektschritte sind: Planung, Vergabevorbereitung, Vergabedurchführung, Messungsüberwachung, Auswertung und Veröffentlichung der Ergebnisse. Im Küstenbereich wurden bis 1999 **hydrostatische Nivellements** vorgenommen, um die vor allem auf Leuchttürmen vorhandenen Pegelfestpunkte höhenmäßig zu überwachen. Der niederländische Rijkswaterstaat hat mit seinem Kabelverlegeschiff „Niveau“ mit bis zu 11 km gekuppelten „Wasserwaagen-Schlauchstücken“ die sehr personal- und zeitintensiven – aber hochpräzisen – Messungen unterstützt.

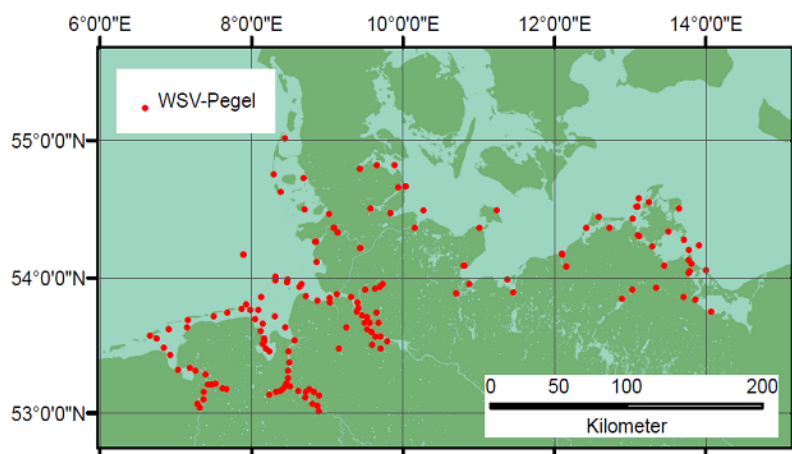


Abb. 1: Küsten- und Ästuarpegel der WSV

Die BfG ist zudem über Arbeitskreise und Expertengruppen eingebunden in die **Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der BRD (AdV)**, in der Verwaltungsvorschriften für z. B. einheitliche vermessungstechnische Verfahren und Berechnungen erarbeitet bzw. aktualisiert werden. Damit wird deutlich, dass die WSV für Lage und Höhe die geodätischen Bezugssysteme der AdV nutzt, und sich die BfG im WSV-Interesse an AdV-Messkampagnen intensiv beteiligt.

Mit dem Fortschritt in der Satellitentechnik erfolgt aus wirtschaftlichen Gründen ein Wechsel von hydrostatischem Nivellement zur **Höhenbestimmung durch Global Navigation Satellite System-Techniken** (GNSS: GPS, GLONAS, ...). Zunächst wurde die Höhenlage der einzelnen Pegelnullpunkte überwacht (BEHRENS 1990); später konnte eine permanente Höhenüberwachung im Küstenbereich erfolgen. Zukünftig wird auch die Einbindung der wesentlichen Binnenpegel vorgenommen.

Durch die Mitwirkung der BfG in drei Forschungsprojekten des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurbauwesen (KFKI) sowie einem BMVBS-Projekt konnten mit dem Stand der technischen Möglichkeiten:

- > durch NN-Sat (2003-2005) GNSS-Kampagnen ausgewertet werden (NN-Sat, TU-DD & BfG 2008),
- > durch IKÜS (2005-2008) ein GNSS-Konzept für Pegel entwickelt werden (IKÜS 2008),
- > durch PEGASUS (2008/2009) ein kontinuierliches GNSS-Höhenmonitoring bei Pegeln realisiert werden (WEISS & SUDAU 2009),
- > in KLIWAS (= Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, 2009-2013) eine Kombination von Pegel, GNSS und Satellitenaltimetrie zur Erfassung langfristiger Änderungen erfolgreich begonnen werden (WEISS & SUDAU 2012).

Die Einführung der **Bezugssysteme ETRS89/UTM** (Lage) und **DHHN92** (Höhe) muss wegen der o. g. Verflechtung mit den AdV-Dienststellen auch in der WSV umgehend nachvollzogen werden – ein Projekt, das nicht von heute auf morgen zu realisieren ist! Hierzu ist besonders die Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) hervorzuheben.

Des Weiteren bestanden/bestehen Kooperationen mit den Universitäten Dresden, Braunschweig, Karlsruhe, Bonn und Darmstadt im Zusammenhang mit BfG-Forschungsprojekten. Im Hinblick auf die **Geokinetik** ist auch die Zusammenarbeit mit dem Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (DGFI, bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) in München, dem Geoforschungszentrum (GFZ) in Potsdam und dem Arbeitskreis „Rezente Krustenbewegungen“ der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) notwendig. Die BfG ist Gast der DGK.

2.2 Gewässer- und Objektvermessung

Zentrale Aufgaben in der Geodäsie betreffen die Entwicklung von Geräten/Systemen und Verfahren für die **Gewässervermessung (Peilwesen)** und für die **Objektvermessung (Bauwerksvermessung)**. Hier zwingen technische und wirtschaftliche Anforderungen zu einer ständigen Weiterentwicklung der Systeme und Verfahren. Im Folgenden werden die wesentlichen „Meilensteine“ der Gewässervermessung und anschließend die der Objektvermessung aufgezeigt.

Die **Vermessung von Gewässern** beinhaltet die Erfassung der topographisch morphologischen Gestalt des Gewässerbettes (Gewässersohle, Uferbereiche, einschließlich der Böschungen unter Wasser). Auf einem Messschiff ist ein **komplexes, hydrographisches Vermessungssystem** installiert, um mit Hilfe der Systemkomponenten für die Ortung, die Lotung und die Beschickung – i. d. R. auch weiterer Messsensoren – die Erfassung des Gewässerbettes aktuell und möglichst lückenlos vorzunehmen (BEHRENS 1988).

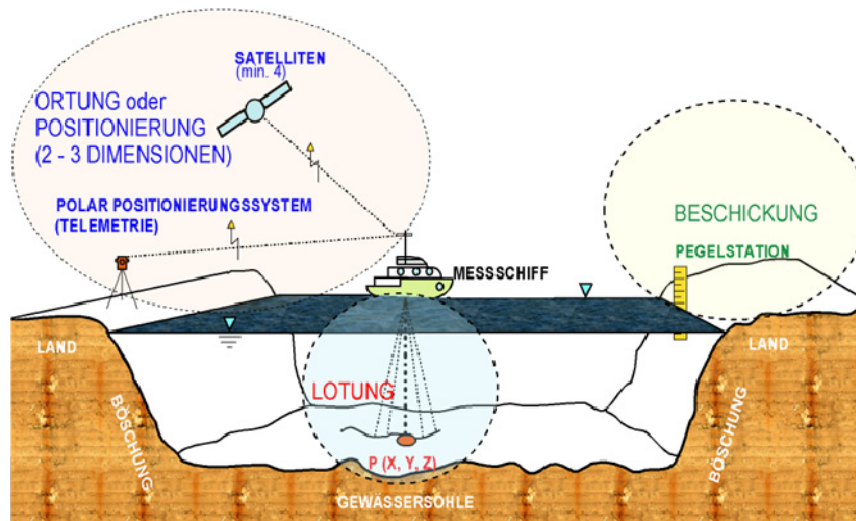


Abb. 2: Durchführung der Gewässervermessung (Prinzipiskizze)

Im Hinblick auf die heutige **Nutzung von GNSS-Techniken** (s. auch Abschnitt 2.1) werden bis Mitte der 90er-Jahre vorwiegend landgestützte **Ortungssysteme** mit logistischen und funktechnischen Problemen eingesetzt (BEHRENS 1992). Die **Tiefenmessung oder Lotung** erhält eine Neuausrichtung durch den Einsatz von Fächerecholoten in Flachwasserbereichen (< 30 m Wassertiefen), seit 1998 für WSV-Flächenpeilschiffe. Zuvor wurden Einzel- oder Mehrfachschwingersysteme mit einer oder zwei Schallfrequenzen für Tiefenmessungen mit Linien- oder Flächenpeilungen verwendet (BEHRENS 2002). Die **Beschickung**, d. h. die Zuordnung der gemessenen Wassertiefen zu dem i. d. R. das Messgebiet umgebenden Landeshöhenbezugssystem, ist abhängig von vorhandenen Pegelstandorten (und deren räumlicher Netzstruktur), Wasserstandserrechnungskarten (z. B. aufgrund von Gezeitentabellen) oder vorhandenen Sensoren zur momentanen Höhenbestimmung, z. B. mit Hilfe eines Niveaulasersystems (BEHRENS et al. 1990).

Einer der frühzeitigen Untersuchungsschwerpunkte war die bereits 1972 konzipierte Idee des damaligen Fachgruppenleiters „Vermessungswesen“, Herrn Meiswinkel, ein **Polarortungssystem** durch eine Firma entwickeln zu lassen. Probleme bereiteten die vorwiegend im militärischen Bereich eingesetzten Lasertechniken, die von stabilen Plattformen arbeiten mussten und das zu positionierende Schiff (als räumlich bewegtes Ziel) für eine gewisse Dauer durch Nachführung des Messsystems verfolgen konnten. Nach mehreren Anläufen entwickelte der Gerätehersteller Krupp-Atlas Elektronik 1983 das **System Polarfix** und 1986 das **Polar-track**, letzteres mit der automatischen Höhenkomponente (MEISWINKEL 1983).

Im Hinblick auf die Erneuerung der **Echolotsysteme** vorwiegend im Küsten- und Tidebereich wurden 1980 Untersuchungen im Raum Brunsbüttel durchgeführt, sowohl mit verschiedenen Sohlenmaterialien im Elbestrom, als auch bei Stillwasser in einer Kammer der Schleuse Brunsbüttel. Es handelte sich um technisch neu konzipierte 2-Frequenz-Echolotsysteme von vier verschiedenen Herstellern. Neben der Tauglichkeit und Robustheit der Tiefenmesssysteme war die BfG auch für die Rabattgestaltung bei einer Option von rund 30 Echolotsystemen einschließlich Ersatzteilen und Wartungsverträgen zuständig (BEHRENS & MEISWINKEL 1980).



Abb. 3: Polarfix und Polartrack der Fa. Krupp-Atlas Elektronik

Im Zusammenhang mit der Einrichtung von **Mini-Ranger-Ortungsketten** (1975-1990) in den Elbebereichen der Wasser- und Schifffahrtsämter (WSÄ) Hamburg und Cuxhaven sowie in den Wesergebiet der WSÄ Bremen und Bremerhaven beschaffte die BfG ein eigenes **Mini-Ranger-Tracking-System (MRT-System)** mit Dezimeter-Messgenauigkeiten für Strömungsmessungen. Hierzu wurden neben der eigenen Softwareentwicklung in der BfG-Werkstatt zwei Messbojenpaare mit zunächst 1,2 m und später mit 0,6 m Eintauchtiefe entwickelt und gebaut. Es wurden erfolgreiche MRT-Messkampagnen (1982-1987) insbesondere an der Elbe im Raum Glücksstadt (Störmündung), auf der Unterems bei Leer, im Schleusenbereich Iffezheim und im Raum Marienhafen/Insel Fehmarn in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover durchgeführt (BEHRENS & VAGTS 1985).

Wegen altersbedingter Erneuerung der vorhandenen HiFix-/HiFix-6-Ortungssysteme im Küstenbereich konnte das **Funkortungssystem SYLEDIS** des Geräteherstellers Sercel an der Elbe und im Bereich der Unterweser getestet und nach Erstellung des Ortungskonzeptes installiert und in Betrieb (1978-1998) genommen werden (BEHRENS 1982). Da der niederländische Rijkswaterstaat gleichzeitig eine Entscheidung für das Ortungssystem SYLEDIS getroffen hatte, war neben der postalischen Frequenzgenehmigung auch eine gründliche, staatenübergreifende Abstimmung zwischen den niederländischen und den deutschen Dienststellen erforderlich. Letztlich wurde eine einzige, gemeinschaftliche Groß-Ortungskette mit einer gebietsmäßig zentralen Masterstation konzipiert, und der Betrieb der über 30 Referenzstationen im Bereich der Nordseeküsten permanent überwacht.

Für die WSV sollte nach der **Organisationsreform von 1972** – eine Reduzierung von 12 auf 6 Wasser- und Schifffahrtsdirektionen (WSD; behördliche Mittelinstanz) – z. B. auch eine **Überprüfung des WSV-Peilwesens** durchgeführt werden. Die „**Untersuchung zur Verbesserung des Peilwesens im Tidegebiet und in der Ostsee**“ (1974-1979) umfasste die Themen: Peilverfahren, -schiffe, -systeme, -personal, -reviere sowie die Peilbüros und deren IT-

Ausstattung. Dabei musste auch der „reibungslose“ Datenfluss vom Messschiff zum Peilbüro bis zur geprüften Datenauswertung berücksichtigt werden. Die gesamte Untersuchung für den Küstenbereich und der Ostsee erfolgte unter Begleitung durch die Zentralstelle für Schiffs- und Maschinentechnik (ZSM) der WSV in Hamburg, die eine genaue Kosten-Leistungsrechnung vornahm. Als Gesamtergebnis wurde eine Optimierung des WSV-Peilwesens erreicht.

Die **„Untersuchung zur Verbesserung des Peilwesens auf den Binnenwasserstraßen“** (1980-1987) sollte anhand der Erkenntnisse für den Küstenbereich entsprechende Lösungsansätze aufzeigen. Sehr schnell stellte sich heraus, dass die Untersuchung für vier WSD deutlich umfangreicher waren als bei zwei WSD im Küstenbereich! Die BfG wurde an den fachlichen Beratungen intensiv beteiligt (WSV-Hauptarbeitsgruppe und 7 Unterarbeitsgruppen).

Die geodätischen Mitarbeiter der BfG erhielten außerdem den Auftrag, zur **„Untersuchung zur Steigerung der Tiefenmessgenauigkeit“ (BMV-Projekt)**. Die BfG-Untersuchungsschwerpunkte (1984-1988) waren:

Linien- und Flächenpeilschiffe, Peilsystem-Komponenten, Messverfahren, Datenverarbeitung, erzielbare Genauigkeiten mit verschiedenen im Einsatz befindlichen und ggfs. zukünftigen Messsystemen und außerdem die Berücksichtigung von Gewässersohlen mit unterschiedlicher Beschaffenheit während der Peilungen (BEHRENS et al. 1988a).

Ein weiteres BfG-Projekt (beauftragt durch den BMV) war der **„Einsatz des Amphi-Rangers als Peilfahrzeug“** (1985-1988). Einerseits begleitend zu der „Steigerung der Tiefenmessgenauigkeit“, aber auch aus praktikablen, messsystemtechnischen Gründen wurde der Amphi-Ranger erprobt. Nach dem Abschluss der wesentlichen Untersuchungen erhielten verschiedene WSV-Dienststellen und deren Peilpersonal in unterschiedlichen BWaStr-Revieren die Gelegenheit, eigene Erfahrungen mit diesem neuen Peilfahrzeugtyp zu sammeln, natürlich mit sehr differenzierten Ergebnissen, da das Kraftfahrzeug Amphi-Ranger nicht direkt mit einem Messschiff verglichen werden kann und daher begrenzte, z. T. aber ideale Möglichkeiten für Peilfahrzeuge z. B. in Nebenarmen der BWaStr bietet (BEHRENS et al. 1988b).



Abb. 4: Amphi-Ranger-Untersuchungen, hier: Deutsches Eck, Koblenz

Das WSA Köln forderte Anfang 1994 die BfG zur Unterstützung bei der Erneuerung eines altersschwachen Bordmesssystem (PS „Niederrhein“) an. Dank neuer GPS-Techniken wurde an Bord des ABz-Bootes MS „Hamster“ seitens der BfG und der Unterstützung durch das WSA-Personal das **„Hydrographisches Mess- und Auswertesystem (HYMAS)“** entwickelt. Die Nutzung von GPS für die Gewässervermessung in der WSV wurde erstmals im Wirkbetrieb zunächst mit einer einzelnen GPS-Referenzstation realisiert. Dank der intensiven und sehr kooperativen Mitarbeit des WSA-Personals konnte der Wirkbetrieb innerhalb von zwei Jahren erreicht werden (BRÜGGEMANN 1995). Parallel zu dieser HYMAS-Entwicklung war eine Zusammenarbeit von BfG und Seezeichenversuchsfeld (heute: Fachstelle für Verkehrstechniken der WSV) sowie der AdV im Hinblick auf Geräteeinsatz, Telemetrie, Frequenzgenehmigung der Deutschen Bundespost, Auswahl der Senderstandorte (zunächst längs des Niederrheins) und der Qualitätssicherung für die GPS-Daten zwingend erforderlich (WIRTH 1995). Ab 1998 übernahm die deutsche Landesvermessung (AdV) den **Satellitenpositionierungsdienst SAPOS®**, den auch die WSV-Dienststellen nutzten und ihre eigenen Referenzstationen in das bestehende Netzwerk der AdV integrierten (BRÜGGEMANN & WIRTH 1996).

Durch **Verbesserung der Fächerecholottechnik** – insbesondere der Nutzung solcher Tiefenmesssysteme nicht nur für den Tiefseebereich sondern speziell für Flachwasserbereiche (< 30 m Wassertiefe) – sollte eine Markterkundung durch die BfG näheren Aufschluss geben. Es konnten 1996 erste Untersuchungen im Bereich des Niederrheins auch mit den Aspekten Hindernissuche und Unterwasser-Bauwerksinspektion vorgenommen werden (BÖTH 1998). Nach den sehr guten Tests standen die Beschaffungen von drei Fächerecholotsystemen und die Erprobung für den Wirkbetrieb durch die drei WSÄ mit fachlicher Beratung durch die BfG an. In den Folgejahren wurden weitere Messschiffe mit Fächerecholoten ausgestattet – insgesamt waren/sind maximal 11 Peilschiffe im Einsatz (BEHRENS 1996). Die Optimierung der Gewässervermessung in der WSV wurde über ein Fachkonzept „WSV-Peilwesen“ im Jahr 2011 fortgeschrieben, und in der Messtechnik werden heute sogenannte Triple-Head Fächerecholotsysteme für eine effektivere Erfassung der Gewässersohle benutzt.

Die neue Fächerecholottechnik führte zu einem **sehr viel höheren Datenfluss** als in der Vergangenheit. Daher wurde es nötig, **Standards für eine qualitätsgesicherte Gewässervermessung** zu entwickeln, wodurch die einzelnen Arbeitsschritte in der Gewässervermessung durch die BfG in Abstimmung mit den Beteiligten vereinheitlicht wurden, Mindestanforderungen genügen mussten und Verbesserungen bei der Produktherstellung mit sich brachten. Ebenso konnten die WSV-Dienststellen zunächst im Küstenbereich bei der Einführung des **angewandten Qualitätsmanagementsystems aQua** durch die BfG-Mitarbeiter unterstützt werden (BEHRENS 2007).

Im Rahmen der BfG-Mitarbeit im DIN-Arbeitsausschuss „Geodäsie“ wurde die Neuauflage der **DIN 18709 Teil 3 „Gewässervermessung“** bearbeitet. Die Normenreihe 18709 umfasst Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie (DIN 18709-3, 2012). Insbesondere bei Vergaben ist der Teil 3 eine zweckmäßige Grundlage für die Durchführung der Gewässervermessung, deren Inhalte gegenüber der letzten DIN-Ausgabe vor allem auf alle Gewässer erweitert und – durch moderne Technologien beeinflusst – aktualisiert wurden (BEHRENS 2013b).

Die **Objektvermessung oder Bauwerksvermessung** ist ein breites Aufgabengebiet im Bereich der Ingenieurvermessung. Sieht man sich die wesentlichen Bauwerksphasen: Bauwerksplanung, -unterhaltung, -dokumentation und -überwachung (Monitoring) an, so ergeben sich vordringliche Aufgaben der WSV – insbesondere für die Bauingenieure in enger Abstimmung mit den Vermessungsingenieuren –, um wirtschaftlich einen Langzeitbestand der sehr teuren (zumeist) „Spezialbauwerke“ (z. B. Schleusen, Wehre, Schiffshebewerke, Brücken, Staumauern) zu garantieren. Sehr viele der WSV-Bauwerke sind älter als 80 Jahre, so dass ein permanentes Monitoring dringend geboten ist (BEHRENDT & BACKHAUSEN 2009). Eine Basis für Bau- und Vermessungsingenieure wird durch gemeinsame Schulungen, einheitliche DIN- (z. B. Normenreihe DIN 18710, Teile 1-4 „Ingenieurvermessung“) und Verwaltungsvorschriften (z. B. VV-WSV 2602 „Ingenieurvermessung im Bauwesen der WSV“) gewährleistet.



Abb. 5: Bauwerksmonitoring an der Edertalsperre

Einzelne **Aufgabenschwerpunkte der Objektvermessung** in den letzten Jahren sind:

- > Untersuchung von verschiedenen Messsystemen für die Ingenieurvermessung, z. B. für die Edertalsperre, z. B. Entfernungsmessungen, Lasertracking oder Nutzung von GPS-Techniken. Zusammenarbeit (ab 1981) von WSÄ, der BfG mit der Universität Hannover (Prof. Dr.-Ing. habil. Pelzer) und der Fachhochschule Bochum (Prof. Dr.-Ing. Fitzen)
- > Entwicklung von Messverfahren, z. B. Rollei-Messkamera 6 X 6 mit Reseau-Gitter, um mittels photogrammetrischer Verfahren die Erfassung und Überwachung von WSV-Bauwerken vorzunehmen
- > fachtechnische Beratung der WSV-Dienststellen bei Neubaumaßnahmen (während der Errichtungsphase; Gutachten zu Messprotokollen von beauftragten Ingenieurbüros)
- > federführende Erarbeitung der VV-WSV 2602 „Ingenieurvermessung im Bauwesen der WSV“ im Rahmen einer WSV-Arbeitsgruppe
- > Neubearbeitung von Mustern zur Aufstellung von Messprogrammen für die WSV-Bauwerke
- > Mitwirkung im DIN-Arbeitsausschuss „Geodäsie“ bei der Erarbeitung der DIN-Normenreihe DIN 18710 „Ingenieurvermessung“ mit der Folge, auch die VV-WSV 2602 zu aktualisieren.

Eine dringend gebotene **Mitwirkung der BfG auf dem Gebiet der Ingenieurvermessung** für die WSV („Innovationen“!), z. B. Laserscanning-Verfahren in der Anwendung für die Objektvermessung, konnte wegen Personalmangel in den letzten fünf Jahren leider nicht bearbeitet werden.

2.3 Geotopographie

1995 wurde der jüngste Teilbereich „Geotopographie“ eingerichtet. Die Veranlassung war der zunehmende Bedarf an Geobasisdaten, insbesondere für die hydrodynamisch-numerische Modellierung. Angefordert wurden **Digitale Geländemodelle der BWaStr-Wasserläufe (DGM-W)** sowie **3D-Wasser-Land-Grenzen** von Hoch- und Niedrigwasserereignissen. In diesem Kontext erfolgten z. B. erstmalig Erprobungen der Airborne Laser-Scanner-Technik (ALS) zur hoch auflösenden Erfassung von Vorlandgelände- und Wasseroberflächendaten (BROCKMANN 2011).

Inzwischen werden federführend von der BfG, zentral und vollständig für die WSV-Dienststellen Projekte zur großräumigen DGM-W-Erstellung ausgeführt. Nach der Erfassung erfolgt in der BfG durch externe Projektbearbeiter eine gründliche Kontrolle zur Abnahme der Befliegungsergebnisse. Anschließend werden die Daten der DGM-W den WSV-Dienststellen über das IT-System 3D-Datenarchiv BWaStr, für die weitere Nutzung bereitgestellt.

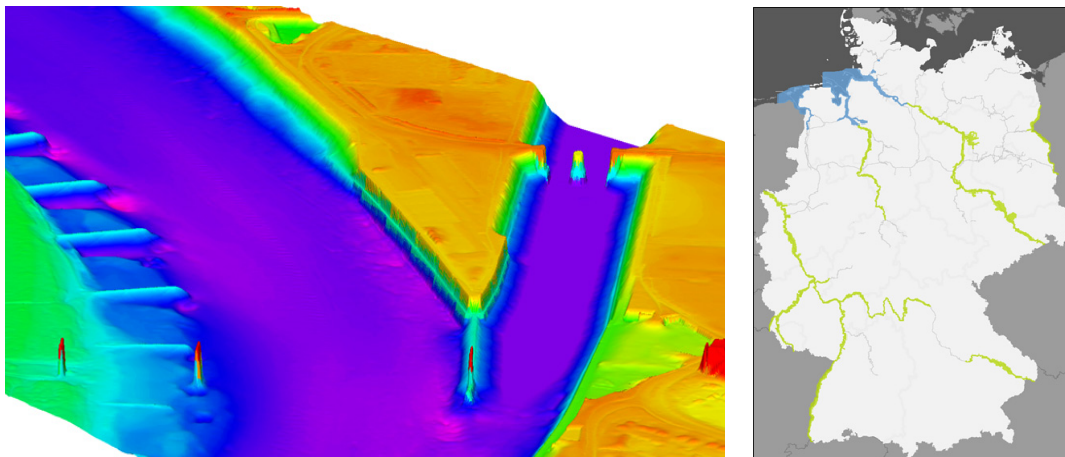


Abb. 6: Digitale Geländemodelle für die Bundeswasserstraßen (DGM-W, links)
Übersicht zu den DGM-W-erfassten BWaStr und Küstenbereiche (rechts)

Immer größere Bedeutung findet auch das **Verkehrsnetz der BWaStr**. Dieser linear referenzierte Datensatz, aufgebaut auf der Basis des geodätischen WSV-Ordnungssystems, aller linienhaften BWaStr diente im Ursprung vor allem der stationsbezogenen Georeferenzierung von Fachdaten in Geoinformationssystemen. Darauf aufbauend wurde und wird dieser Datensatz ständig gepflegt und weiterentwickelt, z. B. INSPIRE-konform mit stationsbezogenen Attributinformationen für die Schifffahrt.

Die wesentlichen Eckpunkte des Aufgabengebiets waren:

- > 1995: Erfassung von Hochwasserereignissen
- > 1998: 1. Untersuchungsbericht. Airborne Laserscanning (ALS)

- > 2000: 1. Konzeption: Digitales Geländemodell von Wasserläufen (DGM-W)
- > 2003: Beginn von standardisierten ALS-Befliegungen und DGM-W-Modellierungen
- > 2006: 1. Konzeption: Verkehrsnetz der BWaStr
- > 2009: Einführung: Verkehrsnetz der BWaStr
- > 2013: nahezu vollständige DGM-W-Verfügbarkeit der BWaStr: Flussläufe und Nordseeküstenbereiche (landseitig der 10 m-Tiefenlinie) als 1 m-Quadratgitter und TIN berechnet.

Hinsichtlich der aktuell anstehenden F&E-Vorhaben sei verwiesen auf den Fachbeitrag im Rahmen dieses BfG-Kolloquiums (BROCKMANN 2013, s. S. 33ff.).

3 Zusammenfassung, Dank und Ausblick

Die Rückschau auf über 35 Dienstjahre zeigt die Aufgabenvielfalt und die intensive Einbindung des Referats M5 der BfG in geodätische Arbeiten für Bundeswasserstraßen (BWaStr). Einerseits zwingen neue Technologien zur Neuorientierung bei der fachlichen Unterstützung der Mitarbeiter der WSV-Dienststellen. Andererseits ergeben sich durch organisatorische Änderungen eine generelle Umorientierung und Veränderungen der Arbeitsabläufe und die damit verbundene fachliche Unterstützung. Dementsprechend ist auch die angewandte Forschung und Entwicklung auszurichten – **mit hoher Fachkompetenz**, aber mit stärkerer Unterstützung durch externe Auftragnehmer, insbesondere Universitäten oder Systemherstellern (BEHRENS 2013a).

Im Rahmen von Untersuchungen des Referates im Küsten- und im Binnenbereich der BWaStr gilt mein Dank den **Mitarbeitern der WSV-Dienststellen** für die langjährige, gemeinsame Projektbearbeitung, mit gelegentlichem, nervenaufreibenden Einsatz bei Wiederholungsmessungen oder Geräteerprobungen über einen längeren Zeitraum.

In der angewandten Forschung und Entwicklung geht mein Dank – in der Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern des Referats „Geodäsie“ – an die **Professoren und die wissenschaftlichen Mitarbeiter** von Universitäten und Hochschulen.

Außerdem danke ich den **Mitarbeitern von Systemherstellern** sowie den **Mitarbeitern von anderen BfG-Referaten** für die i. d. R. erfolgreiche Zusammenarbeit mit dem Fachreferat „Geodäsie“.

Ganz besonders möchte ich den **Mitarbeitern des Referats M5 „Geodäsie“** danken, da durch intensive Aufgabenerledigung und Eigeninitiative zahlreiche Innovationen für die WSV-Praxis umgesetzt werden konnten. Die Freude an der Arbeit ist trotz häufig zeitaufwendiger Messungen vor Ort bei den „Geodäten“ erhalten geblieben!

Als **zukünftige Aufgaben des Referats „Geodäsie“ der BfG** sind zu nennen:

- > Erstellung von Fachbeiträgen zur Optimierung des Verwaltungshandelns (z. B. Zukunftsprojekte, Kooperationen), d. h. Tätigkeit als WSV-Berater und Gutachter
- > interdisziplinäre Zusammenarbeit mit BfG-Referaten
- > Mitwirkung in internen und externen Ausschüssen und Arbeitskreisen (z. B. WSV, Bund, Länder, ...)
- > Wissenstransfer und Mitarbeit in nationalen und internationalen Gremien

- > Das Referat „Geodäsie“ der BfG pflegt Spezialwissen, das auch außerhalb der WSV sehr gefragt ist!
- > Mitwirkung bei Schulungen und in der Lehre

Ich wünsche den Mitarbeitern des Referats „Geodäsie“ der BfG alles Gute für die Zukunft – auch im Rahmen der WSV-Modernisierung!

Literatur

- BEHRENDT, M., D. BACKHAUSEN (2009): Neues Messprogramm. In: Ingenieurvermessung für Bauwerksinspektion an Bundeswasserstraßen. Zeitschr. f. Binnenschifffahrt und Wasserstraßen (HTG), Nr. 1/2.
- BEHRENS, J. (1988): Zur Genauigkeit von Peilungen in der Gewässervermessung (Dissertation 1987). Wiss. Arb. Fachr. Verm.wesen, Univ. Hannover, Nr. 151.
- BEHRENS, J. (1990): Möglichkeiten des Einsatzes von GPS in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung. In: Moderne Verfahren der Landesvermessung, Teil I: GPS. 22. DVW-Seminar vom 12.-14.04.1989. Schriftenreihe Studiengang Verm.wesen der Univ. der Bundeswehr München, Nr. 38-1, S. 331-343.
- BEHRENS, J. (1992): Der Einsatz von GPS in der Gewässervermessung für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. In: Anwendungen des Global Positioning Systems, 25. DVW-Seminar, 18.-19.02.1991, Univ. Hannover. Schriftenreihe des DVW, Nr. 2, S. 154-167, Konrad Wittwer Verlag Stuttgart.
- BEHRENS, J. (1996): Gewässervermessung an Bundeswasserstraßen - heute und im Jahr 2000. In: Festschrift Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Pelzer zum 60. Geburtstag. Wiss. Arb. Fachr. Verm.wesen, Univ. Hannover, Nr. 209.
- BEHRENS, J. (2002): PDGPS and Multi Beam Echosounder Systems for Precise Surveying of Waters in the FRG. In: Technical Session 4.3 "Hydrographic Surveying I", XXII. FIG International Congress 2002, Washington D.C. USA, April 19-26, Copenhagen, Denmark.
- BEHRENS, J. (2007): Gewässervermessung – auch zukünftig von großer Bedeutung für die Sicherheit auf deutschen Wasserstraßen und auf internationalen Gewässern. In: Festschrift anlässlich der Vollendung des 65. Lebensjahres von Prof. Dr.-Ing. habil. Harald Schlemmer. Schriftenreihe Fachr. Geodäsie FB Bauingenieurwesen und Geodäsie Techn. Univ. Darmstadt H. 27, S. 35-48, Darmstadt.
- BEHRENS, J. (2013a): Das Referat Geodäsie der BfG – Fachberater der WSV unter Einsatz der angewandten Forschung. (Gast-Editorial) Allgem. Vermessungs-Nachrichten H. 2, VDE-Verlag GmbH.
- BEHRENS, J. (2013b): Die neugefasste DIN 18709 – Teil 3 „Gewässervermessung“. (Fachbeitrag aus der Praxis) Allgem. Vermessungs-Nachrichten H. 5, VDE-Verlag GmbH.
- BEHRENS, J., G. BRAUN, R. GERTIG (1988a): Untersuchung zur Steigerung der Tiefenmessgenauigkeit (Auftraggeber: Bundesminister für Verkehr). Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-0418, Koblenz.
- BEHRENS, J., G. BRAUN, R. GERTIG (1988b): Untersuchung des Amphi-Ranger SR 2800 als Peilfahrzeug für die WSV (Auftraggeber: Bundesminister für Verkehr). Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-0419, Koblenz.

- BEHRENS, J., H. HENNOCH, W. KEYDANA (1990): Future concept for inspecting the stream-flow regime on the Niederrhein: Increasing the accuracy of depth soundings by application of land-based laser systems. 27th International Congress, Osaka, 20-26 May 1990, Sect. I, Subj. 1, p. 45-52.
- BEHRENS, J., H.-H. KUHR (1991): Gedanken zur 100jährigen Wiederkehr der Gründung des Büros für die Hauptnivellements und Wasserstandsbeobachtungen. Dt. Gewässerkundliche Mitteilungen 35 H. 6, S.146-148.
- BEHRENS, J., H.-H. KUHR, H.-G. MEISWINKEL (1981): Geodätische Arbeiten der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Jahresbericht 1980 der BfG, Teil I, Koblenz.
- BEHRENS, J., H.-G. MEISWINKEL (1980): Untersuchungen von Echolotsystemen verschiedener Hersteller hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für den Einsatz in küstennahen Gewässern. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht, Koblenz.
- BEHRENS, J., W. VAGTS (1985): Strömungsverhältnisse in Stromverzweigungsbereichen der Unterelbe nach Schwimmermessungen. Dt. Gewässerkundliche Mitteilungen 29, S. 150-155.
- BÖTH, H. (1998): Untersuchung eines Fächerlotsystems für den Einsatz auf Bundeswasserstraßen. In: Dokumentation Hydrographentag Papenburg. Dt. Hydrographische Gesellschaft, 08.-10.06.1998.
- BROCKMANN, H. (2011): Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV - eine Standortbestimmung. In: Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV, BfG-Kolloquium am 06.-07.04.2011, Veranstaltungen 3/2011, S. 5-15, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BROCKMANN, H. (2013): Zukunfts- und WSV-orientierte Entwicklungen zur Bereitstellung geotopographischer Produkte. In: Geodätische Arbeiten für Bundeswasserstraßen. Kolloquium am 5./6. Februar 2013 in Koblenz. – Veranstaltungen 8/2013, Bundesanstalt für Gewässerkunde, S. 33-42.
- BRÜGGEMANN, T. (1995): Hydrographisches Mess- und Auswertesystem (HYMAS) mit satellitengestützter Ortung für den Binnenbereich der Bundeswasserstraßen. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-0902, Koblenz.
- BRÜGGEMANN, T., H. WIRTH (1996): Nutzungsmöglichkeiten AdV-kompatibler Referenzstationen in der Binnengewässervermessung. In: Beiträge zum 11. Hydrographentag Glücksburg, 03.-05.06.1996.
- DIN 18709-3 (2012): Begriffe, Kurzzeichen und Formelzeichen in der Geodäsie – Teil 3: „Gewässervermessung“, Beuth Verlag, Berlin, Oktober 2012.
- IKÜS (2008): Abschlussbericht des KFKI-Forschungsvorhaben Aufbau eines integrierten Höhenüberwachungssystems in Küstenregionen durch Kombination höhenrelevanter Sensorik (IKÜS, FörderKZ: 03KIS055,03KIS056,03KIS057,03KIS058). Autoren: Niemeier, W., Wanninger, L., Sudau A., Jahn, C.H., Weiß, R., Heinert, M., Tengen, D., Rost, C., Horst, S.. Veröffentlicht durch: TU Dresden.
- MEISWINKEL, H.-G. (1983): ATLAS-POLARFIX – ein neues Ortungssystem hoher Genauigkeit für den Einsatz auf Binnenwasserstraßen. Zeitschr. f. Verm.wesen., S. 127-129, H. 3.
- NN-Sat, TU-DD und BfG (2008): Abschlussbericht des KFKI-Forschungsvorhaben Entwickeln einer Methodik zur universellen Höhenüberwachung von Küstenpegeln (NN-SAT, FörderKZ: 03KIS005,03KIS006 - TU Dresden, BfG). Veröffentlicht durch TU Dresden.

- WEISS, R., A. SUDAU (2009): KFKI-Forschungsvorhaben Entwicklung eines operationellen automatisierten Höhenüberwachungssystems für Pegel im Bereich der Deutschen Bucht (PEGASUS – Deutsche Bucht, FörderKZ: 03KIS077), veröffentlicht durch BfG, Koblenz.
- WEISS, R., A. SUDAU (2012): Geodätische Aspekte von Höhen und Höhenänderungen der Pegel und Pegelfestpunkte im Küstenbereich. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. H. 5, S. 257 ff.
- WIRTH, H. (1995): Gewässervermessung im Binnenbereich der Bundeswasserstraßen mit hochpräziser DGPS-Ortung. In: Hydrographische Vermessung - heute. 37. DVW-Seminar, 28.-29.03.1995, Univ. Hannover. Schriftenreihe des DVW, Nr. 14, S. 46-56. Konrad Wittwer Verlag Stuttgart.



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Behrens

Am Grauen Kreuz 30

56075 Koblenz

Tel.: 0261/ 54398

E-Mail:

joachim.behrens@t-online.de

Jahrgang **1948**, geb. in Bremen

1969-1974

Geodäsie-Studium an der (Technischen) Universität Hannover

1987

Promotion „als Externer“ über das Thema: „Zur Genauigkeit von Peilungen in der Gewässervermessung“

1974 bis Juli 1977

Referendarzeit in Niedersachsen (Präs. des Nds. VwBez. Oldenburg) und verm.-techn. Angestellter

seit August 1977

tätig bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde in der Fachgruppe V1 „Vermessungswesen“, 1990 geändert in: Referat M5 „Geodäsie“ – Schwerpunkt: Gewässervermessung

seit Mai 1988

Referatsleiter M5 „Geodäsie“ der BfG

1986-2006

Mitglied in Arbeitskreisen des Dt. Vereins für Vermessungswesen: ArKr 5 „Vermessungsinstrumente und Methoden“; 1993-2002 Leiter des ArKr 4 „Hydrographische Vermessungen“; 2003-2006 ArKr 3 „Messmethoden und Systeme“ einschl. UArGr „Hydrographie“

seit 1994

Lehrauftrag „Gewässervermessung“ an der TU Darmstadt; 07/2007 Ernennung: Honorarprofessor

1995-2011

Lehrveranstaltung an der TU Dresden

seit 2008

Lehrveranstaltung an der TU München

seit 2002

Behördlicher Datenschutzbeauftragter der BfG

seit 2006

Vertreter des BfG-Abteilungsleiters M „Quantitative Gewässerkunde“

ab dem 01.03.2013 im Ruhestand

Geodäsie und Pegel – Gestern und heute

Astrid Sudau und Robert Weiß

1 Einleitung

Pegelbeobachtungen sind die Grundlage einer Vielzahl von verschiedensten Anwendungen, wobei die Hauptaufgaben im Bereich der Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt, des Küstenschutzes, sowie wasserbaulicher und wasserwirtschaftlicher Planungen liegen. In zunehmenden Maße gewinnen die Wasserstandsbeobachtungen Bedeutung für die Klimaforschung (z. B. Meeresspiegelanstieg). Für die Analyse langfristiger Wasserstandsänderungen sind neben hochwertigen Wasserstandsbeobachtungen auch geodätische Informationen von entscheidender Bedeutung. Tektonische und anthropogen bedingte Vertikalbewegungen der Erdoberfläche führen zu vertikalen Pegelbewegungen, die teilweise Größenordnungen von einigen mm/Jahr annehmen können. Häufig überlagern sich vertikale Landbewegungen und Wasserstandsänderungen, was Fehlinterpretationen zur Folge hat. Nicht erkannte Vertikalbewegungen werden als langfristige Wasserstandsänderungen interpretiert bzw. reale hydrologische Änderungen werden nicht erkannt.

Um eine Trennung vertikaler Landbewegungen und langfristiger Wasserstandsänderungen zu ermöglichen, hat die BfG in 2008 im Bereich der Deutschen Bucht damit begonnen, die wichtigsten Pegelstationen mit permanent arbeitenden satellitengestützten Messsystemen (GNSS¹) auszustatten. Durch diese Stationen wird ein kontinuierliches Höhenmonitoring möglich. Damit verbunden sind Referenzierungen der Pegelnullpunkte in einem globalen Höhenreferenzsystem, was eine Voraussetzung für grenzüberschreitende Wasserstandsauswertungen und die Einbindung anderer Satellitenbeobachtungen ist.

2 Geodätisches Pegelwesen

2.1 Definition des Pegels und Höhenbezug der Pegelnullpunkte

Pegel sind Einrichtungen zur Erfassung von Wasserständen an oberirdischen Gewässern und der originäre Messwert ist ein Wasserstand über dem Pegelnullpunkt (PNP). Durch die Vielzahl der verschiedensten Aufgaben von Pegeln ergeben sich multifunktionale Anforderungen an die Pegel und i. d. R. ist die zeitliche und/oder örtliche Vergleichbarkeit der Wasserstandsbeobachtungen eine zwingende Voraussetzung. Dies hat zur Folge, dass der Höhe und dem Höhenbezug eines Pegels (Pegelnullpunktes) eine entscheidende Bedeutung zukommt.

¹ GNSS = Global Navigation Satellite System

Bereits in der Preußischen Pegelinstruktion vom 13.02.1810 heißt es: „Wird ein Pegel durch irgendeinen Umstand beschädigt oder vernichtet, so verlieren die vieljährigen Beobachtungen ihren Wert, wenn man nicht den verlorenen Nullpunkt desselben wieder auffinden kann. Es muß daher, sobald der Pegel gesetzt ist, durch ein Nivellement ausgemittelt werden, wie tief der Nullpunkt desselben unter irgend einem entfernten unverrückbar festen Punkt liege, etwa von einem bestimmten Punkte eines massiven Stadttors, einer massiven Kirche u. dgl. Diese Ausmittlung muß in den Oberdeputations- und Regierungsakten aufbewahrt werden, damit hiernach zu jeder Zeit ein verlorener Pegel wieder eingesetzt werden kann.“ (DEUTSCH 2010).

Nach der heute gültigen Pegelvorschrift sind die maßgebenden Bestandteile eines Pegels die Pegellatte und mindestens drei Pegelfestpunkte (LAWA 1997). Der Höhenbezug des Pegelnullpunktes ist mehrstufig aufgebaut (Abb. 1).

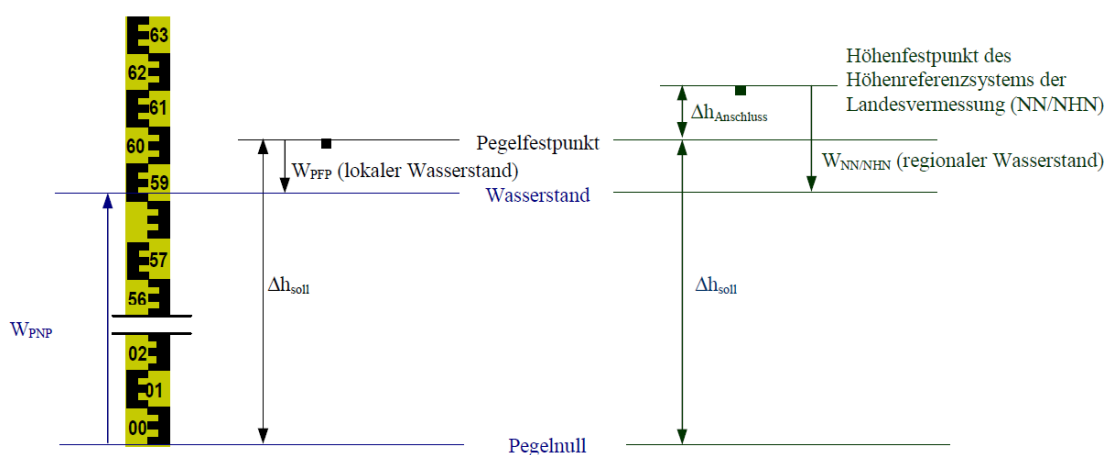


Abb. 1: Verschiedene Höhenbezüge eines Pegels

Die Höhendifferenzen zwischen Pegelfest- und Pegelnullpunkt (i. A. als Sollhöhenunterschied bezeichnet) werden im Vorfeld unter Nutzung der Höhen der Pegelfestpunkte definiert (Festlegung des Pegels) und im Rahmen der Prüfungen der Höhenlagen überwacht. Durch verschiedene äußere Einflüsse, wie etwa mechanische Beschädigungen oder auch durch Eisgang können Veränderungen der Pegellatte und damit auch des Pegelnullpunktes auftreten. Mithilfe der Prüfungen der Höhenlage werden entsprechende Änderungen erkannt, korrigiert und ggf. weitere Maßnahmen getroffen.

Mithilfe der geometrischen Beziehung zwischen Pegelfest- und Pegelnullpunkt wird nur das lokale System Pegel beschrieben bzw. die Höhenlage des Pegelnullpunktes relativ zur unmittelbaren Umgebung definiert und überwacht. Ohne weitere Informationen ist es nicht möglich, eine Beziehung zwischen dem lokalen System Pegel (Pegelnull- und Pegelfestpunkte) und übergeordneten Höhenreferenzsystemen herzustellen. Für eine übergeordnete Vergleichbarkeit unterschiedlicher Pegelstellen zueinander sind Informationen über die Höhen beider Pegelstellen in Bezug auf ein übergeordnetes Höhenreferenzsystem zwingend erforderlich. Die Pegelvorschrift trägt diesem Sachverhalt Rechnung, indem regelmäßige Anschlussnivelements an das übergeordnete Höhenreferenzsystem der Landesvermessung vorgeschrieben werden. Diese werden etwa alle 15 Jahre bzw. nach großen Nivellementskampagnen durch-

geführt. Eine Kombination der Wasserstandsbeobachtungen über Pegelnull, der Sollhöhenunterschiede zu den Pegelfestpunkten und der Höhenangaben der Pegelfestpunkte in einem übergeordneten Höhenreferenzsystem ermöglicht die Angabe von Wasserstandsbeobachtungen in eben diesem System. Erst die daraus resultierenden Wasserstandsbeobachtungen verschiedener Pegel sind örtlich vergleichbar. Darüber hinaus ermöglichen diese Anschlussmessungen Aussagen über Vertikalbewegungen der Pegelfestpunkte.

Je nach Bezug ergeben sich unterschiedliche Arten der Pegelbeobachtungen, die in Abb. 2 dargestellt sind. Ausgehend von den Rohbeobachtungen der Wasserstandssensoren ergeben sich unter Berücksichtigung der Sollhöhenunterschiede Wasserstandsbeobachtungen in Bezug auf die nähere Umgebung der Pegel und damit in Bezug auf die Pegelfestpunkte. Unter Berücksichtigung der Höhen der Pegelfestpunkte ergeben sich Wasserstandsbeobachtungen relativ zu der Realisierung des Höhenreferenzsystems, welches zum Zeitpunkt der Anschlussmessung gültig war. Werden zur Höhenbestimmung andere Verfahren (z. B. kontinuierlich arbeitende GNSS) eingesetzt, ergeben sich Wasserstandsbeobachtungen in Bezug auf das Referenzsystem der Überwachungssysteme. Bei GNSS-Beobachtungen ergeben sich z. B. Höhenangaben in Bezug auf eine Realisierung des International Terrestrial Reference System (ITRS).



Abb. 2: Wasserstand als Funktion des Höhenbezuges

2.2 Anschluss des Pegels an das amtliche Höhennetz

Gemäß der Pegelvorschrift soll der Anschluss des Pegels an das übergeordnete Nivellementsnetz 3. Ordnung bzw. bei Pegeln mit überregionaler Bedeutung an das Nivellementsnetz 2. Ordnung erfolgen. Je nach Standort des Pegels können diese Anschlussmessungen mehr oder weniger aufwendig ausfallen. Insbesondere bei Pegeln auf Inseln oder der Küste vorge-lagerten Pegeln (z. B. auf Leuchttürmen) sind extrem aufwendige Anschlussmessungen nötig. In der Vergangenheit wurden dabei neben geometrischen auch hydrostatische Nivellements ausgeführt (Abb. 3). Bei jedem Nivellement erfolgen die Beobachtungen zu einem bestimmten Zeitpunkt und die erfassten Höhendifferenzen zu den Anschlusspunkten sind streng ge-

nommen auch nur für diesen Zeitpunkt gültig. Hinzu kommt, dass im Rahmen der Nivellements nur Höhendifferenzen zu Anschlusspunkten des Höhenreferenzsystems der Landesvermessung ermittelt werden. Die letztendlich bestimmte Höhe ist direkt abhängig von der Höhe der Anschlusspunkte und damit auch von deren Höhenreferenzsystemen und Realisierungen. Die derzeitige Realisierung des amtlichen Höhenreferenzsystems in Deutschland ist das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN92). Beim DHHN92 handelt es sich um ein Höhenreferenzsystem, welches auf Beobachtungsmaterial aus den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts basiert und damit etwa 25-30 Jahre alt ist. Praktisch bedeutet dies, dass auch aktuell bestimmte Höhen von Pegelfestpunkten aufgrund veralteter Anschlusspunkthöhen nicht die reale Höhenlage repräsentieren.



Abb. 3: Geometrisches und hydrostatisches Nivellement

2.3 Änderungen der Pegelnullpunktshöhen

Im Laufe der Zeit sind Pegel einer Vielzahl von Änderungen unterworfen, wobei neben baulichen Veränderungen häufig auch Höhenänderungen auftreten. Ursachen der Höhenänderungen können reale Vertikalbewegungen der Erdoberfläche aber auch verschiedene Realisierungen der amtlichen Höhenreferenzsysteme sein. Bedingt durch die im Verlauf der Zeit erfolgten Modifikationen der Pegelvorschrift hat dies insbesondere bei der Bestimmung der Höhenlage der Pegelnullpunkte zu unterschiedlichen Vorgehensweisen geführt. Eine Möglichkeit besteht darin, dass die Höhenänderungen durch Festhalten der Sollhöhenunterschiede (Erhalt der inneren Geometrie des Pegels) auf den Pegelnullpunkt übertragen werden und der Pegelnullpunkt numerisch einen neuen Höhenwert erhält. Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass ein definierter Höhenwert des Pegelnullpunktes festgehalten wird und die Sollhöhenunterschiede verändert werden (Pegellattenverschiebungen). Beide Vorgehensweisen wurden in der Vergangenheit teilweise an ein und demselben Pegel praktiziert. Im ersten Fall bleibt die zeitliche Vergleichbarkeit von Wasserständen an einem Pegel erhalten (Wasserstandszeitreihen), allerdings ist die direkte örtliche Vergleichbarkeit der Wasserstände über PNP an verschiedenen Pegelstellen nicht mehr gegeben. Im zweiten Fall wird die innere Geometrie des Pegels zerstört und die Wasserstandszeitreihen erhalten einen Sprung. Dank der Pegelstammbücher (Abb. 4) kann für jeden Pegel die geodätische Pegelhistorie aufbereitet und bei der Interpretation von Wasserstandsänderungen berücksichtigt werden. Abbildung 5 zeigt am Beispiel des Pegels Helgoland-Binnenhafen die Auswirkung einer Lattenverschiebung auf eine Wasserstandszeitreihe. In diesem Fall erfolgte ein Wechsel der Realisierung des Höhenreferenzsystems von „Helgoländer Null“ nach DHHN 92 (Differenz = 27 cm).

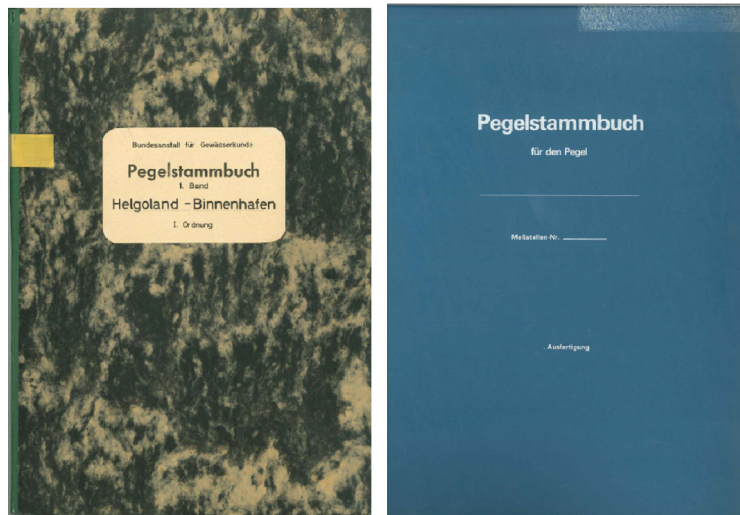


Abb. 4:
Pegelstammbücher
verschiedener Epochen

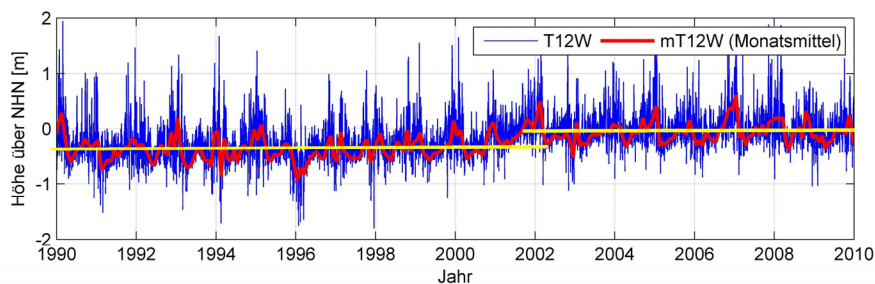


Abb. 5: Auswirkung einer Pegellattenverschiebung auf eine Wasserstandszeitreihe
am Beispiel Helgoland-Binnenhafen

Im Rahmen des KFKI²-Projektes IKÜS und des BMVBS-Forschungsvorhabens KLIWAS wurde von der BfG für ausgewählte Pegel der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung im Bereich der Deutschen Bucht (Abb. 6) die Pegelhistorie aufbereitet und in der KLIWAS-Schriftenreihe „KLIWAS-18/23“ dokumentiert (WEIß & SUDAU 2013).

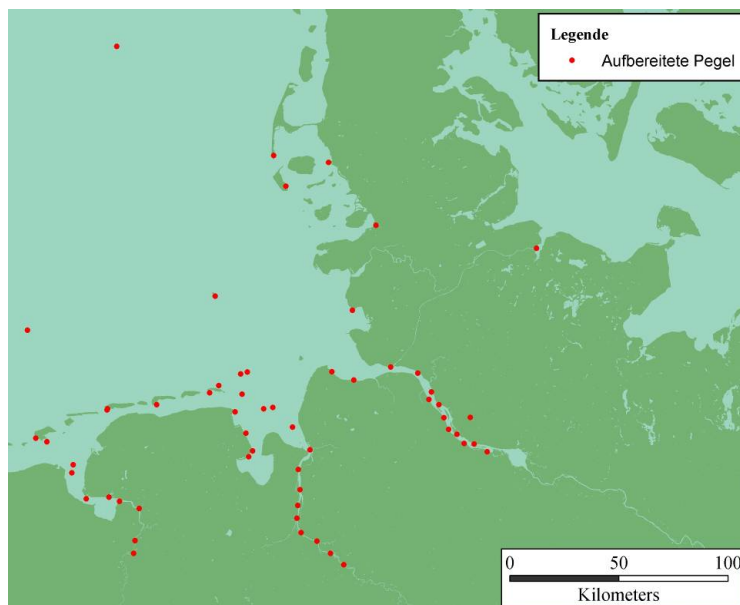


Abb. 6:
Im Rahmen von IKÜS und KLIWAS
aufbereitete Pegel

² KFKI = Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen

Bei der Interpretation von Wasserstandsänderungen müssen die tektonisch und/oder anthropogen verursachten Vertikalbewegungen der Erdoberfläche ebenfalls berücksichtigt werden. Diese liegen häufig in der Größenordnung von einigen mm/Jahr und „korrespondieren“ teilweise mit den angegebenen Werten für den Meeresspiegelanstieg. Abbildung 7 zeigt das Kombinationsmodell der TU Braunschweig für Vertikalbewegungen im Bereich der niedersächsischen Nordseeküste, das im Rahmen des IKÜS-Projektes berechnet wurde (WANNINGER et al. 2008).

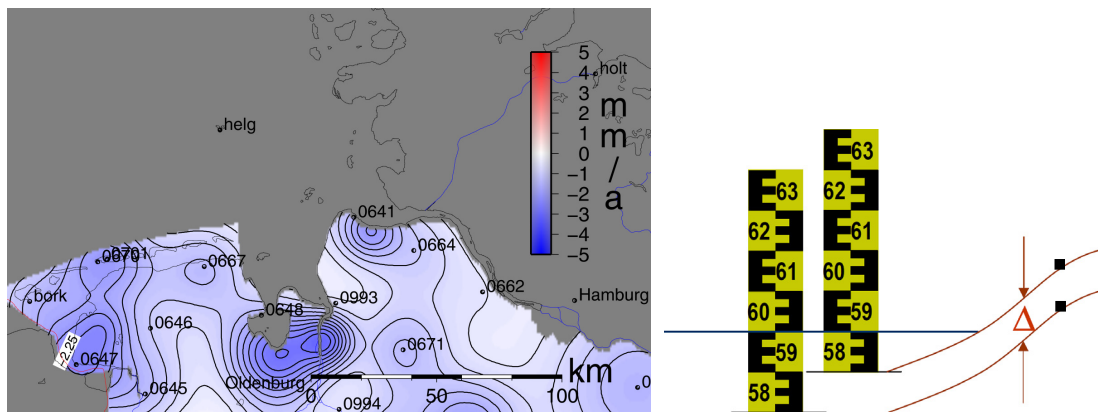


Abb. 7: Vertikalbewegungen im Bereich der niedersächsischen Nordseeküste

Die Höhenangabe der Pegelnullpunkte werden mit dem Verfahren des Nivellements nur in Bezug auf ein zeitlich veränderliches amtliches Höhenreferenznetz bestimmt und die erfassten Wasserstände sind ebenfalls relativ zu dem gewählten Bezugsrahmen. Derartige Pegel sind somit für die Ableitung von klimabedingten Meeresspiegeländerungen nicht geeignet und eine Kombination mit anderen satellitengestützten Wasserstandssensoren (Satellitenaltimetrie) ist nicht möglich. Hinzu kommt, dass ein permanentes Höhenmonitoring der Pegel mittels geometrischem Nivellement ebenfalls nicht möglich ist.

3 GNSS-gestützte Höhenbestimmung und Monitoring von Pegelnullpunkten (GNSS@TG)

3.1 Das Konzept GNSS@TG

Seit einigen Jahren ist es technisch möglich, die Höhe und insbesondere die Höhenänderungen einzelner Pegel mithilfe der Global Satellite Navigation Systems (GNSS) und entsprechenden permanent arbeitenden GNSS-Sensoren zu erfassen. In diesen Fällen werden die Höhen der Pegelnullpunkte direkt ermittelt und somit von rezenten Vertikalbewegungen unbeeinflusste Wasserstände erfasst. Aufbauend auf eigenen Untersuchungen und Ergebnissen anderer wissenschaftlicher und administrativer Einrichtungen hat die BfG im Mai 2008 damit begonnen, wichtige Pegelanlagen im Bereich der Deutschen Bucht mit permanent arbeitenden GNSS auszustatten (Abb. 8 und Abb. 9)

Alle GNSS sind dabei direkt auf den Pegeln montiert bzw. teilen mit mindestens einem Pegelfestpunkt die gleiche physische Struktur (SUDAU & WEIB R. 2009). Die geometrische Beziehung zwischen Pegelfestpunkt und GNSS kann daher als langfristig konstant angesehen

werden. Die Administration der BfG-Stationen erfolgt durch die BfG in Koblenz. Für administrative Zwecke und für die Datenübertragung wurde ein GPRS³-basierter Kommunikationsweg aufgebaut. Die erfassten Beobachtungsdaten werden zusammen mit Daten vergleichbarer deutscher und europäischer GNSS-Pegelstationen im Bereich der Nord- und Ostsee ausgewertet. Originäres Ergebnis sind Höhen und Höhenänderungen der Pegel in einem globalen Referenzsystem (ITRS). Die an diesen Pegeln erfassten Wasserstandsdaten können in demselben Referenzsystem georeferenziert werden, wodurch eine grenzüberschreitende Vergleichbarkeit ermöglicht wird. Darüber hinaus können diese Wasserstandsdaten im Küstenbereich mit anderen satellitengestützten Messverfahren, zum Beispiel der Satellitenaltimetrie im Hochseebereich, kombiniert werden.

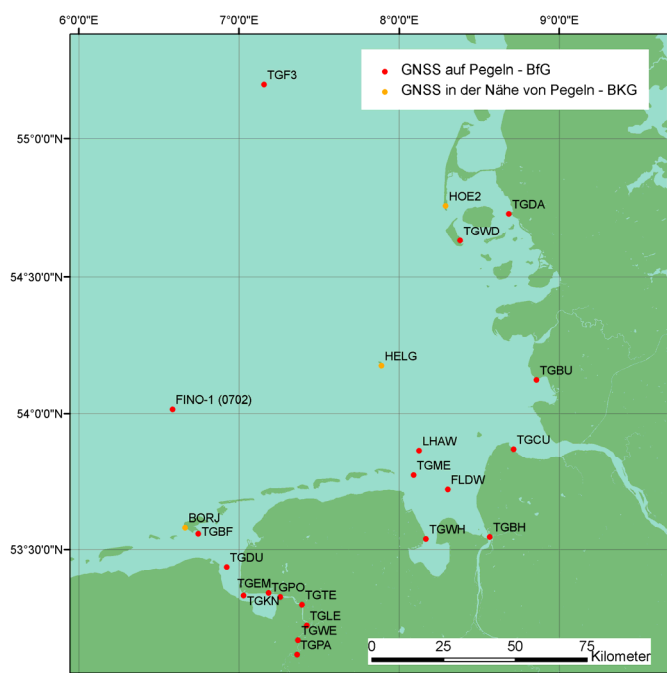


Abb. 8:
Pegelstationen mit permanent
arbeitenden GNSS



Abb. 9: GNSS-Stationen LT Alte Weser (links) und UF Dwarsgat (Mitte und rechts)

³ GPRS = General Packet Radio Service

3.2 Ergebnisse

Die primären Ergebnisse der GNSS-Prozessierung und Auswertung sind wöchentliche, dreidimensionale Koordinaten in einem globalen Koordinatenreferenzsystem. Für die Koordinatenlösungen ergeben sich je nach Installationszeitpunkt mehr oder weniger lange Zeitreihen. Die Mehrzahl der Stationen wurde ab 2009 installiert, so dass die Zeitreihen relativ kurz sind. Weiterhin ist bei der Analyse der Daten zu beachten, dass im April 2011 mit dem ITRF2008 bzw. dem IGS08 eine neue Realisierung des ITRS eingeführt wurde (vorher ITRF2005 bzw. IGS05) und sich dadurch Höhensprünge im Bereich weniger Millimeter ergeben.

Exemplarisch sind die wöchentlichen Lösungen der (ellipsoidischen) Höhenkomponente der Stationen LT Alte Weser, Unterfeuer Dwarsgat, sowie der Pegel Borkum-Fischerbalje und Knock in Abb. 10 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Höhenlösungen z. T. zyklischen Schwankungen unterworfen sind. Besonders ausgeprägt sind entsprechende Effekte bei höheren (Stahl-)Bauwerken, wie etwa Leuchttürmen oder Leuchtfeuern. Bei den betroffenen Bauwerken handelt es sich jeweils um Stahl- bzw. Stahlbetonbauwerke, wobei aufgrund der Temperaturdifferenzen mit Ausdehnungseffekten zu rechnen ist. Aufgrund der zyklischen Variationen wird deutlich, dass eine präzise Überwachung der Höhenlage nur unter Nutzung kontinuierlich arbeitender Sensoren möglich ist. Eine Ableitung von Änderungsraten aus einzelnen Kampagnenlösungen ist nur beschränkt möglich, da die Phasenlage der zyklischen Variationen nicht bekannt ist. Für die Ableitung von Trends in der Höhenkomponente müssen die zyklischen Variationen vorab geschätzt und eliminiert werden (WEIß & SUDAU 2011). Aufgrund der Kürze der Zeitreihen sind die Trends allerdings bislang als statistisch nicht signifikant zu bewerten.

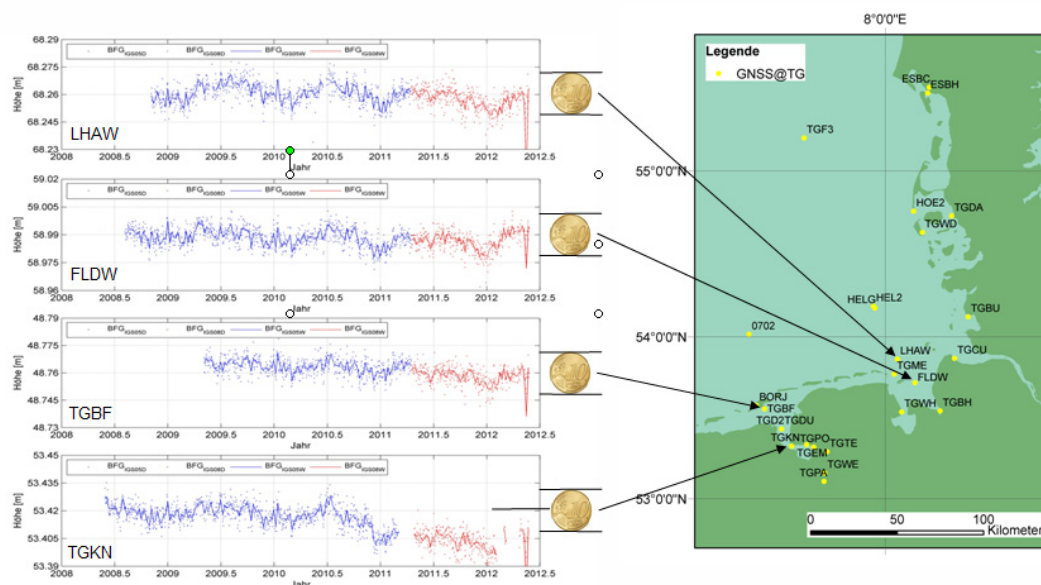


Abb. 10: Wochenlösungen der Höhenkomponente der Stationen LT Alte Weser, Unterfeuer Dwarsgat sowie der Pegel Dukegat und Knock.

3.3 Überführung der ellipsoidischen GNSS-Höhen in das DHHN92

Als Ergebnis einer GNSS-Auswertung erhält man einen Satz dreidimensionaler kartesischer und ellipsoidischer Koordinaten in der jeweiligen Realisierung des globalen Koordinatenreferenzsystems (ITRF05, ITRF08, IGS05, IGS08). Die ellipsoidische Höhe ist dabei rein geometrisch definiert als Höhe über einem globalen Referenzellipsoid (GRS80) und ohne jeglichen Bezug zum Schwerfeld der Erde. Im Gegensatz dazu sind die von der Landesvermessung bereitgestellten nivellitischen Höhen in schwerebezogenen, d. h. physikalischen Höhenreferenzsystemen definiert (BENGEL & SUDAU 1998). Prinzipiell können die ellipsoidischen Höhen unter Verwendung eines Schwerfeldmodells in physikalische Höhen überführt werden. Für einen Übergang zwischen den physikalischen Höhenangaben im DHHN92 und den ellipsoidischen Höhen erfolgt seitens der Landesvermessung die Bereitstellung einer deutschen Realisierung des globalen Koordinatenreferenzsystems in Form von **SAP^{OS}**⁴ und eines Überführungsmodells in Form des „German Combined QuasiGeoid 2011“ (GCG 2011) (Abb. 11).

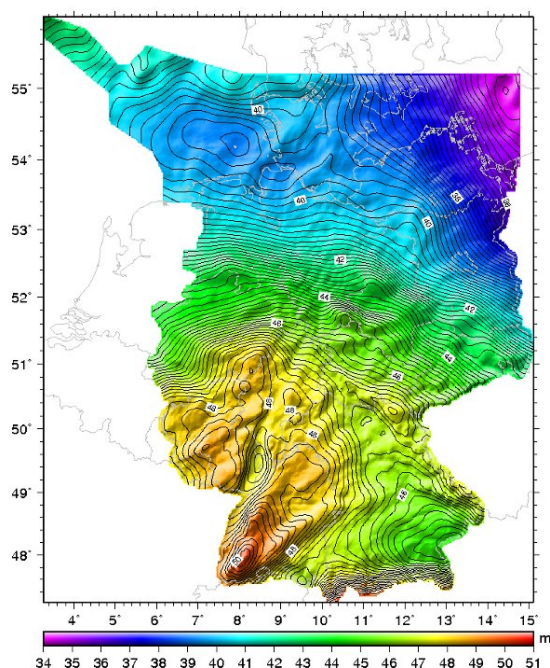


Abb. 11:
German CombinedQuasiGeoid 2011
(GCG 2011); Quelle: www.bkg.bund.de

Für ausgewählte Pegelstationen liegen aktuelle Hauptnivellements der BfG mit Anschlussmessungen an die Festpunkte des DHHN92 vor (Abb. 12). Ein Vergleich der nivellierten und der mittels GNSS und GCG 2011 bestimmten Höhen zeigt, dass die maximale Differenz 13 mm beträgt und keinerlei Systematiken erkennbar sind. Wenn man bedenkt, dass diese Differenzen sowohl die Messunsicherheiten der GNSS-Beobachtungen und des Nivellements als auch die Modellunsicherheit des GCG 2011 beinhalten, kann man dieses Ergebnis als sehr gut bewerten.

⁴ **SAP^{OS}**® = Satellitempositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung

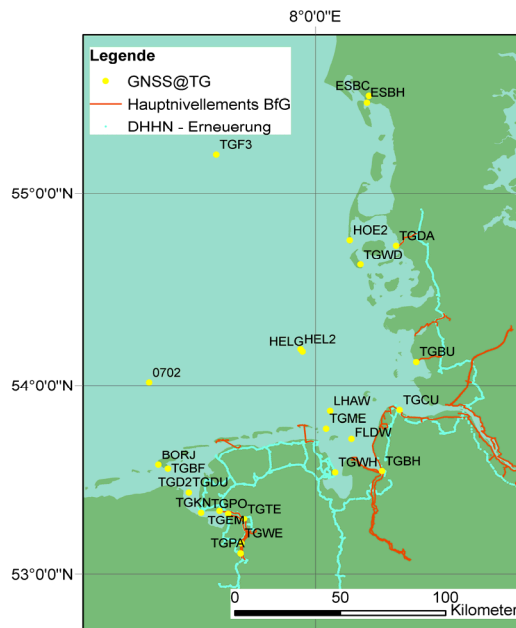


Abb. 12:
Aktuelle Hauptnivellements der BfG und GNSS-
Pegelstationen

4 Satellitenaltimetrie

Die Beobachtung von Meeresspiegelhöhen mittels Satellitenaltimetrie beruht auf dem Prinzip einer Laufzeitmessung eines vom Satelliten ausgesendeten Mikrowellenimpulses, der an der Meeresoberfläche reflektiert und am Satelliten wieder empfangen wird (NOVOTNY 2006). Genaue Altimeterbeobachtungen liegen seit 1992 durch verschiedene Missionen (Topex, Jason 1+2, Envisat und ERS-1+2) vor.

Im Rahmen von KLIWAS wurde das Potenzial der Satellitenaltimetrie hinsichtlich der Vergleichbarkeit mit Pegelmessungen sowie der Ableitung von Meeresspiegelanomalien untersucht. Ziele waren zum einen eine umfassende geometrische Beschreibung der Meeresspiegeloberfläche und zum anderen die Erzeugung und Bereitstellung von Referenzdatensätzen für die Datenassimilation und Modellvalidierungen (z. B. BSHcmod, Klimaforschungsmodelle, etc.).

Um die linienhaften Altimeterbeobachtungen (Abb. 13), die je nach Mission in einem Messintervall von 11 bzw. 30 Tagen vorliegen, mit den kontinuierlichen, punktuellen Pegelbeobachtungen vergleichen und kombinieren zu können, müssen alle Beobachtungen in einem einheitlichen globalen Referenzsystem (und einheitlicher Realisierung) vorliegen. Die Wasserstandsbeobachtungen an den von der BfG mit GNSS ausgestatteten Pegeln erfüllen diese Bedingung. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass die Korrekturen und Modelle (z. B. Festerdegezeiten, Ozeangezeiten, IB-Effekte, Schwerefeldmodelle, etc.) für beide Beobachtungstypen identisch sind.

Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen ist, dass die instantanen Altimeterbeobachtungen und die Pegelbeobachtungen in der Nähe des Pegels sehr gut übereinstimmen und mit wachsender Entfernung größer werden (Abb. 14). Diese anwachsenden Differenzen werden durch die real vorhandenen Unterschiede aufgrund von Tide, Strömungen, etc. verursacht.

Die Altimetermessungen weisen somit die gleiche Qualität wie Pegelmessungen auf und können folglich wie „Pegel am Himmel“ für die linienhafte Erfassung von Wasserständen im Seebereich genutzt werden. Derartige Wasserstände beschreiben den instantanen Zustand der Meeresoberfläche sehr viel realer als die Wasserstandsbeobachtungen an den Küstenpegeln und sind somit hervorragend für die Datenassimilation und Validierung ozeanographischer Modelle geeignet.

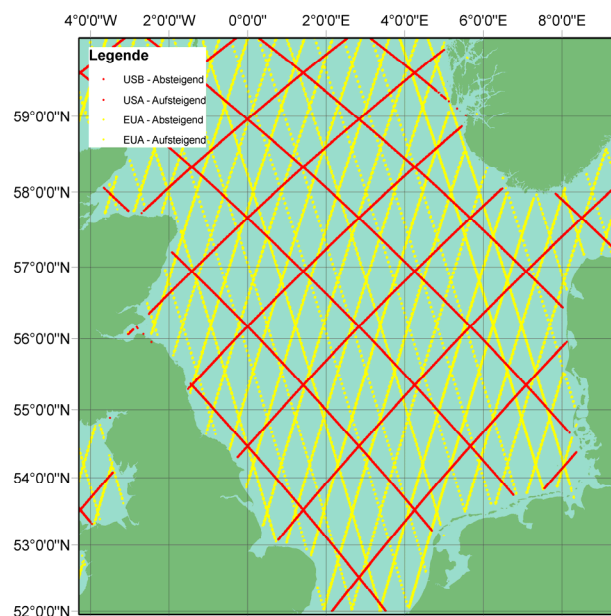


Abb. 13:
Altimeterspuren im Untersuchungsbereich
(Nordsee)

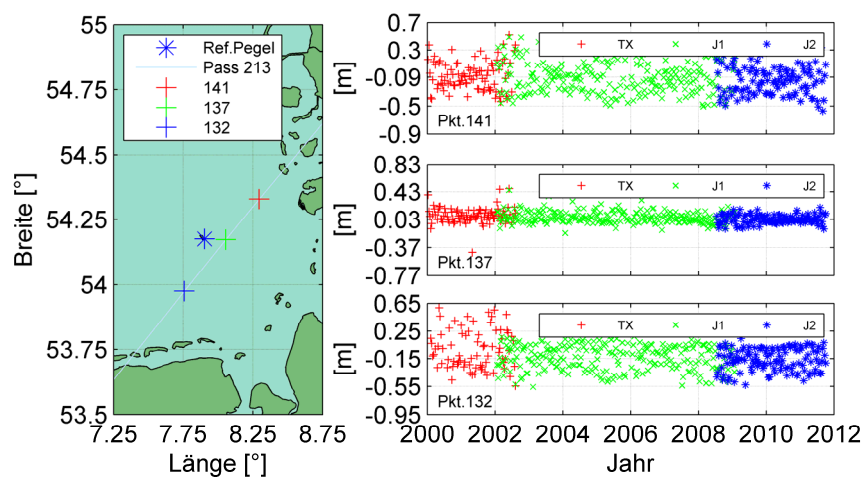


Abb. 14: Vergleich der Pegel- und Altimeterbeobachtungen in verschiedenen Distanzen vom Pegel Helgoland-Südhafen

5 Zusammenfassung

Die Grundprinzipien und die Qualitätsicherung im geodätischen Pegelwesen haben eine lange Historie und gelten auch heute noch. Besonderes Augenmerk muss dabei auf die Georeferenzierung des Pegelnullpunktes gelegt werden. Für die korrekte Nutzung der Pegelbeobachtungen ist die Dokumentation der verwendeten Referenzsysteme zwingend notwendig. Die Kombination der verschiedenen Beobachtungen (Pegelbeobachtungen, Nivellement, GNSS und Satellitenaltimetrie) in einem einheitlichen Referenzsystem und einer einheitlichen Realisierung zeigen eine sehr gute Übereinstimmung. Der geodätische Beitrag im Pegelwesen besteht darin, dass die Höhenangaben für die Pegelnull und -festpunkte zuverlässig sind und dass homogene und zuverlässige Referenzdatensätze für das Prozessverständnis des Systems Erde bereitgestellt werden können.

Literatur

- BENGEL, W., A. SUDAU (1998): GPS-Höhenmessungen im Raum Mainz-Wiesbaden, Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN), Heft 8-9..
- DEUTSCH, M. (2010): Zur Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung HW54, Heft 2.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Bundesministerium für Verkehr (1997): Pegelvorschrift – Anlage C, Anweisung für das Festlegen und Erhalten der Pegel in ihrer Höhenlage, Kulturbuchverlag Berlin GmbH.
- NOVOTNY, K. (2006): Untersuchungen von Meeresspiegelvariationen in der Ostsee: Kombination von Satellitenaltimetrie, Pegelmessungen und einem Ozeanographischen Modell, Dissertation, TU-Dresden.
- SUDAU, A, R. WEIB (2009): Entwicklung eines operationellen automatisierten Höhenüberwachungssystems für Pegel im Bereich der Deutschen Bucht (PEGASUS – Deutsche Bucht) – Abschlussbericht KFKI Projekt, BMBF Förderkennzeichen 03KIS077.
- WANNINGER, L., C.-H. JAHN, W. NIEMEIER, A. SUDAU (2008): Aufbau eines integrierten Höhenüberwachungssystems in Küstenregionen durch Kombination höhenrelevanter Sensorik (IKÜS), Abschlussbericht KFKI-Projekt; BMBF Förderkennzeichen 03KIS055, 03KIS056, 03KIS057, 03KIS058.
- WEIB, R., A. SUDAU (2011): Satellitengestützte Überwachung der Pegelnullpunktshöhe in der Deutschen Bucht, Die Küste, Heft 78.
- WEIB, R., A. SUDAU (2013): Geodätische Pegelinformationen für Pegel im Bereich der Deutschen Bucht und Ästuar der Elbe, Weser und Ems, KLIWAS-Schriftenreihe, KLIWAS-18/2013



Kontakt:

Dr. Astrid Sudau

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5287
Fax: 0261/ 1306 5280
E-Mail: sudau@bafg.de

Jahrgang 1957

Ausbildung

1976-1981

Studium der Geodäsie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn

1983-1985

Vorbereitungsdienst für den höheren vermessungstechnischen Verwaltungsdienst beim Regierungspräsidenten Münster

1994

Promotion zum Dr.-Ing. an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn

Beruflicher Werdegang

1981-1982

Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geodätischen Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn

1982-1983

Wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (Department of Marine Geodesy) in Delft, Niederlande

1985-1991

Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Geodätischen Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn

Seit 1991

Wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat Geodäsie;
Ansprechpartnerin für den Aufgabenbereich „Geodätische Referenzsysteme und Geokinetik“

Zukunfts- und WSV-orientierte Entwicklungen zur Bereitstellung geotopographischer Produkte

Herbert Brockmann

1 Einleitung

Aktuell wird eine Vielzahl an geotopographischen Produkten, anwendungsneutralen Geodaten zur Beschreibung der Landschaft (Topographie) mit einheitlichem geodätischen Raumbezug für die alltägliche Arbeiten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) bereitgestellt. Aufgeführt seien u. a. großmaßstäbige Karten, Digitale Geländemodelle, 3D-Strukturlinien, Landnutzung/-bedeckung, Verkehrsnetze und rekonstruierte Strombauwerke.

Im Kontext mit einem wirtschaftlichen Verwaltungshandeln ist kontinuierlich zu überprüfen, ob und wie Leistungssteigerungen zur Erstellung und Fortführung dieser Produkte erreichbar sind. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden vier, bei der BfG aktuell bearbeitete beziehungsweise initiierte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (F&E) vorgestellt.

2 Erfassung von 3D-Geländedaten mittels Stereobildzuordnung

2.1 Veranlassung

Bis Ende 2013 stehen von ca. 2.800 km der BWaStr-Fließgewässer Digitale Geländemodelle der Wasserläufe von Binnenwasserstraßen (DGM- W_{Binnen}) zur Verfügung (s. Abb. 1). Darüber hinaus wurden schon ca. 900 km dieser Standard-DGM-W (BROCKMANN 2011) fortgeführt. Bis dato werden insbesondere klassifizierte Airborne Laserscanner-Messdaten (ALS-Daten), erfasst mit einer

- > Punktdichte von vier Punkten pro m^2 und
- > Genauigkeit (95 % Sicherheitswahrscheinlichkeit) in der Lage von $U_x = U_y = 30 \text{ cm} - 50 \text{ cm}$ und in der Höhe von $U_H = 15 \text{ cm}$,

zur Modellierung des Geländes, des Vorlandes und der trocken gefallenen Wasserwechselzone, herangezogen. Zur Bereitstellung entsprechender 3D-Geländedaten lassen aktuell die neueren Entwicklungen in der Stereobildzuordnung (Bildkorrelation, Bildmatching) in Verbindung mit digitalen photogrammetrischen Kameras wirtschaftliche Optimierungspotenziale erwarten. Sie begründen sich mit

- > 2- bis 3-fach höheren Flugflächenleistungen unter Berücksichtigung von i. d. R. nur kurzfristig vorliegenden, aber einzuhaltenden Niedrigwassersituationen und

- > einer Mehrfachnutzung der Luftbildbefliegungen zur gleichzeitigen Erstellung und Pflege der WSV-relevanten großmaßstäbigen Kartenwerke (Digitale Bundeswasserstraßenkarte 1:2000 sowie der digitalen Inlandnavigationskarten IENC 1:10.000) und der DGM-W.

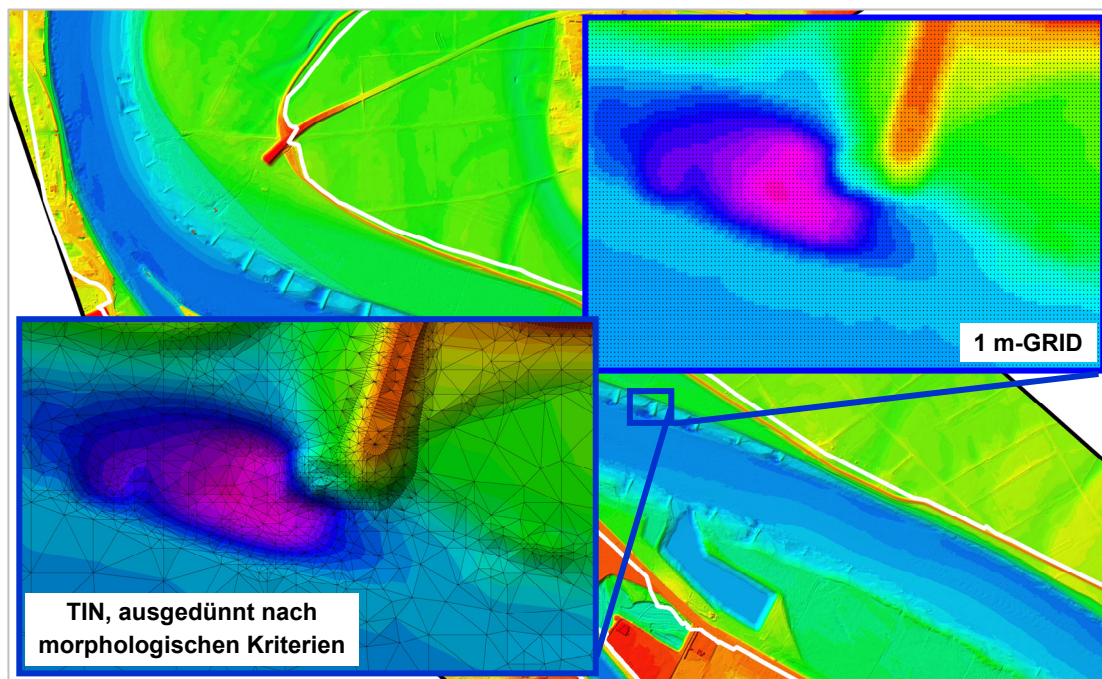


Abb. 1: Standard-DGM-W_{Binnen}; Rhein im Bereich des Krefelder Bogens, km 661

Die neueren Methoden der Stereobildzuordnung (KRAUS 1996a), insbesondere mit der Korrelationsmethode des Semi-Global-Matching (SGM, HIRSCHMÜLLER 2011) und des Mehrbildansatzes (HALLA 2011) werden schon routinemäßig zur Erstellung von Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) eingesetzt. Das Leistungsvermögen im Kontext mit der Bereitstellung von Geländedaten für die DGM-Modellierung ist dem gegenüber noch nicht nachgewiesen.

2.2 F&E-Aufgabenstellung

Die anstehenden F&E-Arbeiten werden von der BfG im Auftrag der Fachstelle Vermessungs- und Kartenwesen der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte und in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Wien ausgeführt. Als Ausgangsbasis werden allen Untersuchungen Daten von drei Abschnitten mit größtenteils unterschiedlichen Spezifikationen von drei Bundeswasserstraßen (BWaStr), die die Gegebenheiten umfassend charakterisieren, zugrunde gelegt, s. Tabelle 1.

Tabelle 1
Datengrundlagen

BWaStr-Abschnitte	Digitaler Bildflug		Airborne Laserscanning
	Bodenauflösung (GSD) [cm]	Überdeckung [% , längs / quer]	Punktdichte [Punkte/m ²]
Rhein (8 km ²)	8	60 / 30	5,6
Elbe (8 km ²)	5,5	80 / 70	> 4
Weser (7 km ²)	< 10	80 / 60	6

Die Schwerpunkte der quantitativen und qualitativen Untersuchungen sind insbesondere:

- > Prozessierung der 3D-Messdaten mit den Zuordnungsverfahren:
 - Least Squares Matching (LSM, herkömmlicher Kleinste-Quadrate-Ansatz, Kraus 1996b),
 - SGM (s. Abschnitt 2.1),
 unter Berücksichtigung aller möglichen Bildanordnungen,
- > Klassifizierung der vorgenannten 3D-Messdaten (Gelände, Wasserbauwerke, No-Terrain-Data),
- > Gegenüberstellungen der LSM-, SGM- und ALS-Messdaten,
- > Vorgehensempfehlung zur zukünftigen 3D-Geländedatenerfassung.

2.3 Erwartete Ergebnisse

Das Vorhaben soll möglichst bis Frühjahr 2014 abgeschlossen werden. Erwartet werden unter fachlichen Gesichtspunkten zuverlässige Aussagen zu den mit Stereobildzuordnung erreichbaren Genauigkeiten der abgeleiteten 3D-Messdaten in Lage und Höhe sowie den Messpunktdichten, insbesondere bezogen auf die Geländeklassen: Boden, Strombauwerke und No-Terrain-Data. Daraus ergeben sich dann die finalen Erkenntnisse,

- > ob und wie mit den Bildmatchingdaten der DGM-W-Standard eingehalten werden kann,
- > wie die wirtschaftlichsten Flug- und Auswertekonfigurationen zur Erstellung/Pflege von DGM-W und/oder großmaßstäbigen Karten aussehen und
- > ob eventuell weitere F&E-Aktivitäten zielführend sind.

3 Erfassung trocken fallender Wattflächen mittels flugzeuggestützter InSAR-Methoden

3.1 Veranlassung

Bis Ende 2013 stehen von ca. 5.500 km² der tidebeeinflussten BWaStr mit den relevanten Küstengewässern Digitale Geländemodelle der Wasserläufe (DGM-W_{Küste}) zur Verfügung (s. Abb. 2 und 3). Darüber hinaus wurden schon ca. 800 km² dieser Standard-DGM-W (BROCKMANN 2011) fortgeführt. Bis dato werden insbesondere klassifizierte ALS-Daten, erfasst mit einer

- > Punktdichte, je nach Anforderung, von einem Punkt bis vier Punkten pro m² und
- > Genauigkeit (95 % Sicherheitswahrscheinlichkeit) in der Lage von $U_x = U_y = 30 \text{ cm} - 50 \text{ cm}$ und in der Höhe von $U_H = 15 \text{ cm}$,

zur Modellierung der trocken fallenden Wattflächen und des Vorlandes herangezogen. Zur Bereitstellung entsprechender 3D-Messdaten lassen aktuell die neueren Entwicklungen der Interferometrischen Radar-Technik mit synthetischer Apertur (InSAR) wirtschaftliche Optimierungspotenziale erwarten. Sie begründen sich mit

- > 5- bis 6-fach höheren Flugflächenleistungen unter Berücksichtigung von nur kurzfristig und nicht mit jeder Tideperiode vorliegenden Niedrigwassersituationen, i. d. R. bei mittlerem Tideniedrigwasser – 25 cm und
- > grundsätzlicher Wetterunabhängigkeit des Aufnahmesystems.

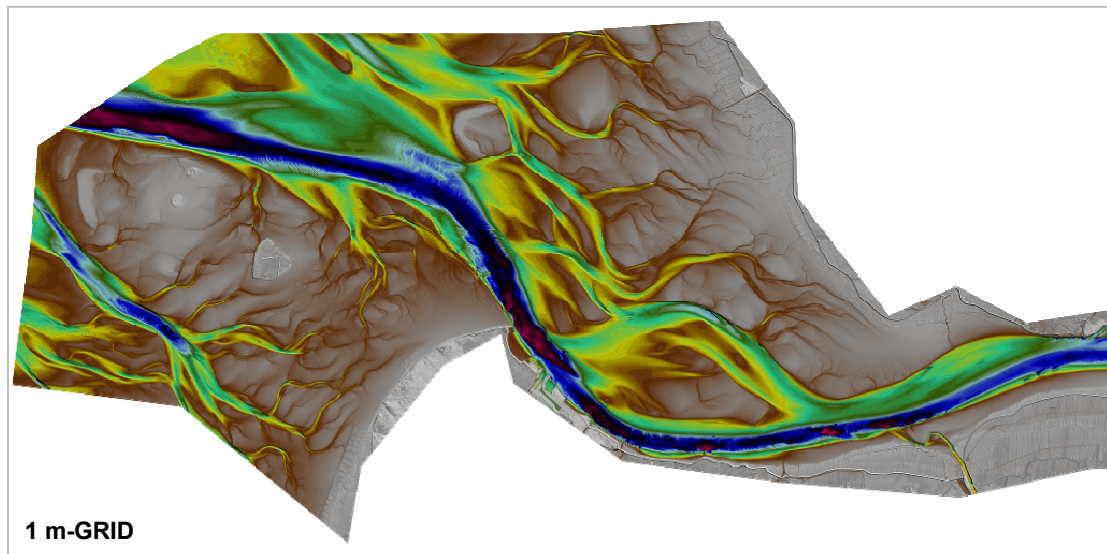


Abb. 2: Standard-DGM- $W_{\text{Küste}}$; Außenelbe

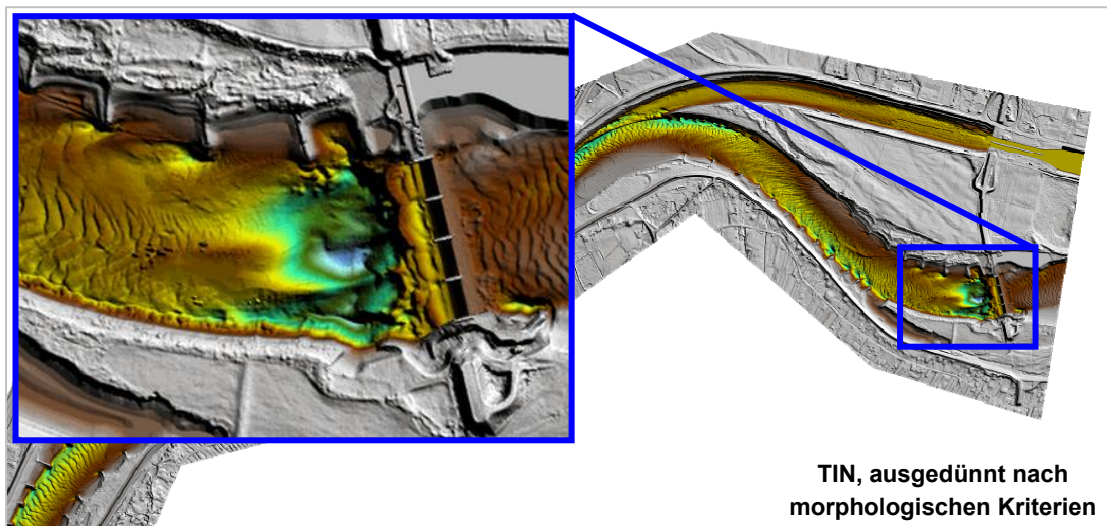


Abb. 3: Standard-DGM- $W_{\text{Küste}}$; Obere Tideelbe, Wehranlage Geesthacht

Beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, wird das F-SAR-System zur Ausführung mehrfrequenter Single-Pass-SAR-Aufnahmen (HORN et al. 2009) betrieben. Aus den SAR-Daten werden DOM erzeugt, aus denen dann in einem nächsten Arbeitsschritt die trocken gefallenen Wattflächen zu extrahieren sind. Dazu werden sinnvollerweise die hoch auflösenden SAR-Daten im X-Band genutzt. Die SAR-Daten im S-Band lassen darüber hinaus eine noch nicht eindeutig quantifizierbare Vegetationsdurchdringung zur Erfassung von Geländedaten der Vegetationsflächen des Vorlandes erwarten.

Ferner lässt das F-SAR-System mit den inzwischen möglichen Aufnahmeanordnungen eine Flexibilität in der Festlegung der Basislinien zu. Dies führt insbesondere zu einer Genauigkeitssteigerung bei der Erfassung der 3D-Messdaten.

3.2 F&E-Aufgabenstellung

Die auszuführenden F&E-Arbeiten der BfG und des DLR, im Auftrag der BfG, werden von der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, und der Forschungsstelle Norderney des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasser, Küsten- und Naturschutz als potenzielle Datennutzer begleitet. Die bisher vorliegenden SAR-Daten wurden im November 2012 im X-Band bei Tideniedrigwasser von Teilbereichen des Jadebusens und der Insel Juist erfasst (s. Abb. 4). Von diesen Gebieten liegen vergleichbare ALS-Daten vor. Eine vergleichbare SAR-Mission im parallelen X- und S-Bandmodus ist für das Frühjahr 2013 geplant.

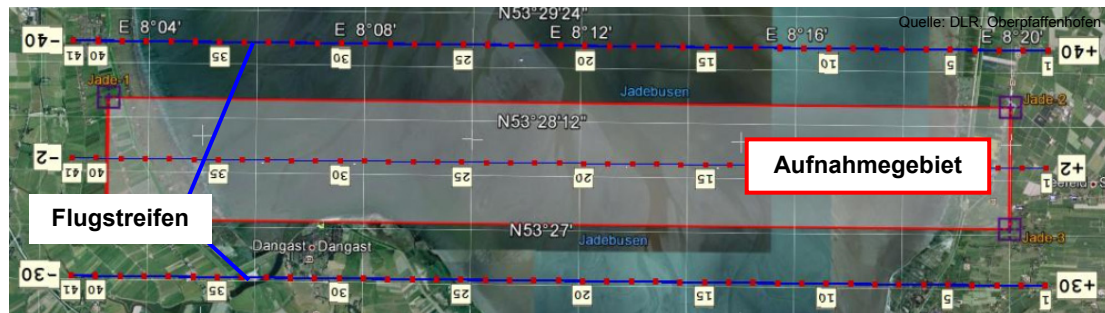


Abb. 4: Flugstreifen Testgebiet Jadebusen

Die Schwerpunkte der quantitativen und qualitativen Untersuchungen sind insbesondere:

- > Optimierte Prozessierung der 3D-Messdaten als DOM:
 - aus Single-Pass-SAR-Interferometrie, gemittelt aus 2 Datensätzen mit entgegengesetzter Aufnahmerichtung,
 - aus Repeat-Pass-SAR-Interferometrie, 4 Datensätze entsprechend 2 Flugstreifen mit entgegengesetzter Aufnahmerichtung, jeweils aus der Verrechnung zweier Datensätze mit nominell parallelen Flugpfaden, wobei die Basislinie quer zur Flugrichtung angeordnet ist,
- > Klassifizierung der vorgenannten 3D-Messdaten (Wattflächen, Wasserflächen bzw. Vorlandgelände, No-Terrain-Data),
- > Gegenüberstellungen der InSAR- und ALS-Daten,
- > Vorgehensempfehlung zur möglichen 3D-Wattflächen- und Vorlandgeländedatenerfassung.

3.3 Erwartete Ergebnisse

Das Vorhaben soll möglichst bis Ende 2013 abgeschlossen werden. Erwartet werden unter fachlichen Gesichtspunkten zuverlässige Aussagen zum Leistungsvermögen der neuesten flugzeuggestützten InSAR-Methoden, insbesondere zur hoch auflösenden Erfassung trocken gefallener Wattflächen und zur Geländerepräsentation im DGM bei Vegetationsflächen. Daraus ergeben sich dann die finalen Erkenntnisse,

- > inwieweit mit InSAR-Daten der DGM-W-Standard eingehalten werden kann,
- > wie die wirtschaftlichsten Flugkonfigurationen zur DGM-W-Modellierung aussehen und
- > ob eventuell weitere F&E-Aktivitäten zielführend sind.

4 Ableitung von 3D-Strukturlinien aus Punktwolken

4.1 Veranlassung

Für die hydrodynamisch-numerische Modellierung und die DGM-W-Modellierung werden 3D-Strukturlinien (3D-Bruch-/Geländekanten, teilweise auch 3D-Formlinien) als Basisprodukt benötigt. Sie werden nach wie vor „klassisch“ stereophotogrammetrisch aus digitalen Luftbildern, i. d. R. mit Bodenauflösung von $GSD \leq 10$ cm, erfasst. Die Produktverfügbarkeit ist in der WSV projektabhängig. Bei eindeutiger Objektidentifizierung liegt die Produktgenauigkeit, mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 %, in der Lage von $U_x = U_y = 8$ cm – 20 cm und in der Höhe von $U_H = 20$ cm vor.

Aktuell wird eine wirtschaftliche Alternative zur photogrammetrischen Messung gesucht. Hier bietet sich die Nutzung von 3D-Punktwolken an, die inzwischen für fast alle Fließgewässer im Form von hoch aufgelösten ALS-Daten oder in Ausnahmefällen von Bildkorrelationsdaten vorliegen. Dazu bedarf es einer automatisierten, auch zumindest weitestgehend automatisierten praxisreifen Lösung zur Ableitung der 3D-Strukturlinien aus 3D-Punktwolken. Entsprechende bisherige Lösungen der Kantenmodellierung, z. B. durch Verschneiden von Ebenenpaaren (BRIESE & ATTWENGER 2004; BROCKMANN et al. 2010) oder Adaptionen der Geometrieanalyse aus industriellen Anwendungen (STORK & BEIN 2011) sind vielversprechend, aber zumindest mit einem sehr hohen, unwirtschaftlichen manuellen Nachbearbeitungsaufwand verbunden.

4.2 F&E-Aufgabenstellung

Da die Landesvermessungsdienststellen vor vergleichbaren Problemstellungen stehen, beabsichtigen die BfG und interessierte Landesvermessungsdienststellen, die Entwicklung entsprechender Lösungsansätze mit robusten Algorithmen und die Umsetzung in performante praxisreife Softwarelösungen zu forcieren. Dazu erfolgt zurzeit in der 1. Stufe eine Markterkundung zur Ausführung einer Fachstudie in der Stufe 2 auf der Basis einer Implementierungsgemeinschaft. Im Rahmen der Fachstudie, bearbeitet durch eine geeignete Institution, Hochschulinstitut, Ing.-Firma oder entsprechende Arbeitsgemeinschaft, sind folgende fachliche Anforderungen zu erbringen:

- > Ableitung von 3D-Strukturlinien auf der Basis der zu entwickelnden Algorithmen bei möglichst weitgehender Minimierung des manuellen Postprocessings:
 - auf der Basis von bereitgestellten 3D-Punktwolken, 1, 4 und 8 Punkte pro m^2 ,
 - für sechs Geländeklassen (flaches, bewegtes und steiles Gelände mit nicht ausgeprägter und ausgeprägter Vegetation) und
 - für vier Produktklassen (u. a. o. g. Standard-DGM-W_{Binnen}),
- > Dokumentation mit Beschreibung der entwickelten Algorithmen und des fachlichen Vorgehens einschließlich des Workflows,
- > detaillierte fachliche und wirtschaftliche Bewertung der erreichten Ergebnisse im Kontext mit der Bereitstellung homogener Ergebnisdaten und einer anvisierten Softwarerealisierung in der Stufe 3.

4.3 Erwartete Ergebnisse

Die Fachstudie soll bis Mitte 2014 vorliegen. Erwartet werden zuverlässige Aussagen zur fachlichen und wirtschaftlichen Vertretbarkeit und Veranlassung einer Softwarerealisierung.

5 Automatisierte Ableitung von Vorlandrauheiten aus Full-Waveform Airborne Laserscannerdaten

5.1 Veranlassung

Für die hydrodynamisch-numerische (HN) Modellierung werden häufig, im vergleichbaren Kontext zum DGM-W_{Binnen} (s. Abschnitt 2.1) hoch auflösende Rauheitsinformationen benötigt. Derzeit werden diese Informationen aus den Landnutzungs-/bedeckungsprodukten: Digitales Landschaftsmodell für Deutschland (BKG 2013) oder dem Digitalen Basis-Landschaftsmodell des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (AdV 2013) abgeleitet. In Einzelfällen erfolgen auch gesonderte photogrammetrische Auswertungen. Die Zuordnung zu den Strickler-Beiwerten oder äquivalenten Sandrauheitswerten wird dann manuell und individuell entsprechend der HN-Aufgabenstellung ausgeführt.

Hier lassen die neueren Möglichkeiten der Aufzeichnung von Full-Waveform ALS-Daten, gleichzeitig erfasst mit den inzwischen standardisierten ALS-Befliegungen zur DGM-W-Modellierung, fachliche und wirtschaftliche Optimierungen erwarten. Bei Full-Waveform ALS handelt es sich um die Erfassung aller (Mehrfach-)Reflexionen, u. a. mit den 3D-Koordinaten, der Rückstrahlungsintensität, Signalamplitude, Signalbreite (s. Abb. 5, JUTZI 2011). Das Ziel ist die direkte automatisierte Ableitung der Rauheitsinformationen aus den Full-Waveform ALS-Daten. So wäre dann auf der Basis „identischer ALS-Daten“ eine homogene und vergleichbare Datengrundlage zum DGM-W für die HN-Modellierung verfügbar.

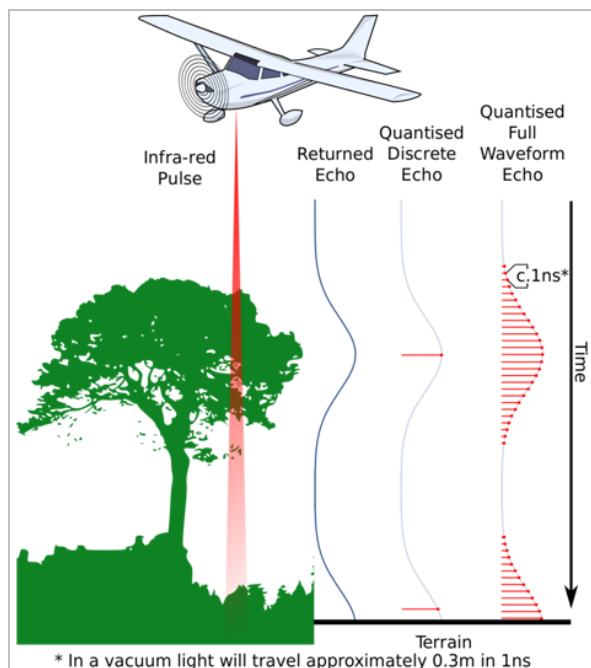


Abb. 5:
Full-Waveform ALS-Daten

5.2 F&E-Aufgabenstellung

Mit der Ausführung der interdisziplinären F&E-Arbeiten, Laufzeit 3 Jahre, wurden von der BfG die Institute für Photogrammetrie und Fernerkundung sowie Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie beauftragt. Die fachlich inhaltliche Steuerung erfolgt durch eine Arbeitsgruppe mit Vertretern der BfG (Geodäsie, Wasserstandsvor-

herschaft, Biologie, Landschaftspflege) und der BAW (Wasserbau). Geeignete, final georeferenzierte Full-Waveform ALS-Daten stehen aus dem Projekt DGM-W Niederrhein (BROCKMANN et al. 2012) zur Verfügung. Zur Bearbeitung wurden drei repräsentative Testgebiete von 9 km², 39 km² und 46 km² vorgegeben. Die mittlere Punktdichte der Full-Waveform ALS-Daten beträgt 5,6 Punkte pro m² mit bis zu 7 Reflexionen. Darüber hinaus wurden 4-kanalige (RGBI: rot, grün, blau, nahes Infrarot) digitale Orthophotos mit einer GSD = 8 cm zur Verfügung gestellt.

Der Auftrag gliedert sich in die Arbeitspakete:

- > Fernerkundungsdaten und -methoden,
- > Methoden der Parametrisierung von Vorlandrauheiten
- > nutzerorientierter Prototyp.

Das übergeordnete Ziel ist die Realisierung homogener und vergleichbarer Datengrundlagen zum DGM-W für die HN-Modellierung auf der Basis „identischer ALS-Daten“. Eine Vorgabe der grundsätzlich anzuhaltenden Methoden erfolgte von vornherein nicht. Allerdings soll, soweit möglich, eine Ableitung ohne vordefinierte Landnutzungs-/deckungsklassen ausschließlich auf der Basis der Full-Waveform ALS-Daten erfolgen. Sofern die Klassifizierungsmerkmale im Kontext mit den ALS-Daten sich im Laufe des Projektablaufes als nicht ausreichend herausstellen sollten, werden zu einem späteren Zeitpunkt noch die RGBI-Daten hinzugezogen.

Aktuell wird folgender 3-stufiger Ansatz verfolgt:

- > Stufe 1: Bestimmung von Rauheitshöhenklassen: ausschließlich höhenbasierte Ableitung von Rauheitsklassen,
- > Stufe 2: Ableitung von Objektklassen: Klassifikation (durch Support Vector Machines, LEITLOFF 2011) auf der Basis kartierter Trainingsflächen von Objektklassen pro Rauheitsklasse,
- > Stufe 3: Festlegung von Vegetationsdichteklassen: Klassifikation beziehungsweise Transformation von Vegetationsdichten pro Objektklasse.

5.3 Erwartete Ergebnisse

Das Vorhaben läuft vorerst bis Ende 2014. Es wird davon ausgegangen, dass dann möglichst praxisreife Methoden zur Ableitung von automatisierten Vorlandrauheiten aus Full-Waveform ALS-Daten vorliegen, so dass

- > Verbesserungen in der Datenhomogenität, Rauheiten im Kontext mit DGM-W, und
- > Wirtschaftlichkeitssteigerungen bei der Parametrisierung der Rauheiten für großräumige hydraulische Modelluntersuchungen

erreichbar sind. Mit der Beurteilung der dann vorliegenden Ergebnisse gehen natürlich entsprechende Aussagen zu ggf. notwendigem weiteren F&E-Bedarf mit dem Ziel der Praxisreife einher.

6 Resümee

Die vorgestellten F&E-Vorhaben konzentrieren sich schon ressourcenbedingt auf zeitnah zielführende Technologieentwicklungen. Dabei steht die Wirtschaftlichkeit, wenn erforderlich und sinnvoll in Verbindung mit fachlichen Leistungssteigerungen, im Vordergrund. Um nutzerorientierte Ergebnisse sicherzustellen, sind Produktnutzer immer mit einbezogen, d. h. alle Vorhaben werden interdisziplinär bearbeitet. Nutznießer dieser Aktivitäten ist vor allem die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.

Literatur

- AdV – Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (2013): <http://www.adv-online.de/icc/extdeu/broker.jsp?uMen=9db50769-dad3-19fa-6d78-79f08a07b51a> (letzter Zugriff am 22.05.2013)
- BKG – Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2013): http://www.bkg.bund.de/nr_168418/DE/Bundesamt/Produkte/Geodaten/Landbedeckungsmodell/DLM-DE_node.html_nnn=true (letzter Zugriff am 22.05.2013)
- BRIESE, C., M. ATTWENGER (2005): Modellierung dreidimensionaler hydrologisch und hydraulisch relevanter Geländekanten aus hochauflösenden Laser-Scanner-Daten. In: Praxisorientierte und vielseitig nutzbare Fernerkundungseinsätze an der Elbe, Kolloquium am 30.09.2004 in Magdeburg. - Veranstaltungen 1/2005, S. 35-46, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BROCKMANN, H. (2011): Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV - eine Standortbestimmung. In: Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV, BfG-Kolloquium am 06.-07.04.2011, Veranstaltungen 3/2011, S. 5-15, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BROCKMANN, H., A. HAASE, G. MANDLBURGER, M. SCHRÖDER (2010): LIDAR-Datenpotenziale für hydrodynamisch-numerische Modelluntersuchungen, 3-Ländertagung der DGPF, OVG und SGPF, DGPF-Tagungsband 19, Wien, 30.06.-03.07.2010
- BROCKMANN, H., A. HAASE, L. SCHUMANN (2012): Die großräumige Geobasisdatenaktualisierung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung am Niederrhein, Teil 3: Die Geländedatenerfassung und Bereitstellung der geotopographischen Produkte, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 5. Jahrgang, Heft 4, Hennef.
- HALLA, N. (2011): Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching, Photogrammetric Week 2011, Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, S. 185-195, Stuttgart.
- HORN, R., A. NOTTENSTEINER, A. REIGBER, R. SCHEIBER (2009): F-SAR – DLR's new Multifrequency Polarimetric Airborne SAR, Proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Cape Town, South Africa.
- HIRSCHMÜLLER, H. (2011): Semi-Global Matching – Motivation, Developments and Applications, Photogrammetric Week 2011, Wichmann Verlag, Berlin/Offenbach, S. 173-184, Stuttgart.
- JUTZI, B. (2011): Potenziale des Full-Waveform-Laserscanning zur Erfassung von Flussvorlandrauheiten. In: Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV, BfG-Kolloquium am 06.-07.04.2011, Veranstaltungen 3/2011, S. 118-124, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.

- KRAUS, K. (1996a): Photogrammetrie, Band 2, Verfeinerte Methoden und Anwendungen, S. 395ff., Dümmler Verlag, Bonn.
- KRAUS, K. (1996b): Photogrammetrie, Band 3, Topographische Informationssysteme, S. 315ff., Dümmler Verlag, Köln.
- LEITLOFF, J. (2011): Detektion von Fahrzeugen in optischen Satellitenbildern, Dissertation, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Technische Universität München.
- STORK, A., M. BEIN (2011): Adaption von Verfahren der Geometrieanalyse aus industriellen Anwendungen auf das Problem der Bestimmung vom 3D-Wasser-Land-Grenzen. In: Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV, BfG-Kolloquium am 06.-07.04.2011, Veranstaltungen 3/2011, S. 101-109, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.



Kontakt:

Herbert Brockmann

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
Tel.: 0261/ 1306 5214
Fax: 0261/ 1306 5088
E-Mail: brockmann@bafg.de

1975-1978

Studium Vermessungswesen an der Fachhochschule Bochum

1979-1982

Rheinische Braunkohlenwerke AG, Bergschäden-Markscheiderei, Köln

1983-1987

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Kiel und Koblenz

seit 1987

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat Geodäsie, Koblenz

Tätigkeitsschwerpunkte:

1987-1998: Objektvermessung
seit 1999: Geotopographie

Anforderungen der WSV an die geodätischen Arbeiten der BfG

Michael Heinz

1 Aufgaben der WSV

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) als dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zugeordnete Wasserstraßenverwaltung hat die Aufgabe, die Wasserstraßen zu unterhalten, auszubauen, zu betreiben und in einem ordnungsgemäßen Zustand zu halten. Diese hoheitlichen Aufgaben ergeben sich aus den §§ 7, 8 und § 48 des Bundeswasserstraßengesetzes (WaStrG). Insbesondere aus § 48 ergibt sich eine von der WSV eigenständig wahrzunehmende Verantwortung, wonach alle wasserbaulichen Anlagen den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen müssen.

Neben diesen hoheitlichen Aufgaben leiten sich aus der Widmung der Wasserstraßen als Verkehrsweg auch die Verpflichtung zu dessen Verkehrssicherung ab. Dazu gehört die Gewährleistung von Tiefe und Breite der freigegebenen Fahrrinne, aber auch die sichere Bereitstellung von Anlagen und Bauwerken.

2 Geodätische Aufgaben der WSV

Eine der bedeutsamsten geodätischen Aufgaben ist die Verkehrssicherung der verkehrswirtschaftlich genutzten Wasserstraßen. Die Erfassung von Breite und Tiefe der bereitgestellten Fahrrinne mit Sohl- und Ufergeometrie hat regelmäßig zu erfolgen. Diese allgemein mit Peilaufgabe beschriebene Tätigkeit wird heute überwiegend mit modernen Peilschiffen (s. auch Abb. 1) durchgeführt und mit zeitgerechter Peilsoftware weiterverarbeitet und bedarfsgerecht dargestellt.

Neben der eigentlichen Verkehrssicherung werden teilweise die gleichen Peilleistungen genutzt und benötigt für die baulichen Aufgaben zu Unterhaltung und Neubau der Strecken, Optimierung der Baggeraufgaben, Grundlagen für Bauwerksplanungen in Flüssen (z. B. Regulierungsbauwerke) und Kanälen (z. B. Deckwerks- und Sohlanpassungen), Bewertung der morphologischen Gewässerbettstrukturen, aber auch insbesondere für die zeitgerechte Information der Schifffahrt über nutzbare Fahrrinntiefen an morphologische mobilen Streckenabschnitten.



Abb. 1: Peilschiff Visurgis

Hier entwickeln sich auch künftig neue Herausforderungen. Angesichts der knapper werdenden Ressourcen müssen die Peilaufgaben noch effizienter und wirtschaftlicher erledigt werden. Je nach Wasserstraßenbedeutung werden unterschiedliche Priorisierungen und Leistungsstufungen in den jeweiligen wasserstraßenspezifischen Peilkonzepten abgebildet. Die wachsende verkehrliche Nutzung der bedeutsamen Binnen- (z. B. Rhein) und Seewasserstraßen (z. B. Tideelbe) erfordern wochen- bzw. tagegenaue Informationen über die nutzbaren Fahrrinntiefen (oder Fahrrinnenübertiefen).

Zu den wichtigen Landvermessungsaufgaben der WSV gehören neben der ihr als Bundesverwaltung eigenständig zugeordneten Land- und Katastervermessung insbesondere die immer wichtiger werdende Bau- und Ingenieurvermessung. Wachsendes Bauwerksalter und zunehmende Bauwerksanzahl rücken diese Aufgaben nach vorn.

Die hohe Bedeutung der Bauwerksinspektion in der WSV durch die regelmäßige Inspektion der Bauwerke (alle 1-6 Jahre) wird unterstützt und ergänzt durch Bauwerksinspektionsmessungen. Systematisiert sind diese durch einheitliche bedarfsangepasste Messprogramme gemäß Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2602. Hierin sind die Planung und Durchführung der Messaufgabe sowie die bautechnische Verwendung geregelt.

Dieser Aufgabenbereich wird künftig im Umfeld der wachsenden verkehrlichen Belastung und dem durchschnittlich höheren Bauwerksalter nicht nur bedeutsamer, sondern muss auch bei unvorhergesehenen Schadensereignissen schnell reagieren können, um die Schäden erfassen, interpretieren und beseitigen zu können. Wenn dann noch verkehrsbedingt Reparaturen oder Sicherungsmaßnahmen an den Bauwerken unter laufendem Verkehr durchgeführt werden müssen, bedarf es einer besonders intensiven messtechnischen Überwachung der Bauwerksbewegungen.

Angesichts des wachsenden Vergabeanteils insbesondere im Bereich der Land- und Katastervermessungen, aber auch teilweise im Peilwesen, bedarf es klarer und einheitlicher Qualitätssicherungssysteme, die die selbst oder von Dritten erbrachten Peilleistungen unter einen einheitlichen Standard stellen und somit vergleichbar machen. In der WSV ist inzwischen das unter SQG (standardisierte qualitätsgesicherte Gewässervermessung) begonnene, nun unter „aQua“ (angewandtes Qualitätsmanagement in der Gewässervermessung) benannte Qualitätssicherungssystem eingeführt.

Grundlage einer langfristig vergleichbaren Vermessungsleistung ist ein verlässliches Höhen- und Festpunktfeld. Soweit dieses nicht von den Ländern überall vorgehalten wird, sind seitens der WSV eigenständige verdichtete Netze erforderlich.

Die Verkehre an den Hauptwasserstraßen werden weiter zunehmen. Damit nehmen auch die Herausforderungen an die vermessungstechnischen Aufgaben zu. Diese Tatsache erfordert immer mehr eine stärkere Verschneidung geodätischer Produkte mit bautechnischen und telematischen Optimierungspotenzialen. Genaue und aktuelle ECDIS-Karten an Tiefenengpässen des Gewässerbettes bedingen einen Vorrang für diese Fachaufgabe.

Die Pegeldata, die Wasserstandsvorhersagen sowie die messtechnische Erfassung von Wasserstandsschwankungen, von Abladevarianzen der Schifffahrt und von Sohllagen sind als Gesamtsystem zu betrachten. Sicherheitsbewertungen und verkehrswirtschaftliche Optimierungen und Risikobetrachtungen müssen das Gesamtsystem umfassen. Sektorale Einzelbetrachtungen sind ineffizient.

3 Wechselwirkungen zwischen WSV und BfG

Insbesondere der geodätische Fachbereich der BfG ist seit Jahrzehnten ein unabdingbares Modul für ein modernes und leistungsfähiges Vermessungswesen in der WSV. Diese Bedeutung wird eher zunehmen. Die Rolle der BfG mit einer fachwissenschaftlichen Beratung und Unterstützung der WSV sowie einer projekt- und auftragsbezogenen Zusammenarbeit wird insbesondere für die WSV im Umfeld einer immer knapper werdenden Ressourcensituation immer wichtiger; zumal operative Aufgaben zunehmend gebündelt werden und deren Schnittstelle zur BfG und deren Anteile elementar sind zur sicheren Gewährleistung der Fachaufgabe.

Gerade die fachwissenschaftliche Kompetenz der BfG im Bereich der Gewässer- und Objektvermessung sowie der Geotopografie erfordert eine hohe synchrone Wechselwirkung zwischen BfG und WSV. Die bedarfs- und anforderungsgerechte Unterstützung z. B. durch Markt- und Technikanalysen oder den Entwicklungstransfer von erprobten Verfahren in die WSV mit einem hohen Maß an fachlicher Nähe und Erfahrung machen die geodätischen Leistungen der BfG unabdingbar für die WSV. Hierzu bedarf es auch künftig bei der BfG einer prioritären Ressourcenbereitstellung, um die WSV quantitativ und qualitativ, fachlich und kapazitativ zu unterstützen. Hierbei hat die Gewässer- und Objektvermessung Priorität.

Hinzu kommt der Wissenstransfer der BfG, die WSV durch gebündeltes Spezialwissen operativ und im Bereich von Schulung und Fortbildung zu unterstützen. Aktuell werden in der WSV zahlreiche moderne und leistungsstarke Peilschiffe in Dienst gestellt. Bei deren Erprobung und Abnahme kann auf die fachwissenschaftliche Unterstützung durch die BfG nicht verzichtet werden.

Damit die auf den Peilschiffen gewonnenen Daten sachgerecht ausgewertet und archiviert werden können, wird derzeit eine die gesamte WSV abdeckende Peilsoftware PAUSS entwickelt. Hierbei und auch bei der Entwicklung einer „einfachen“ Peilsoftware für die neuen Aufsichtsschiffe der WSV ist der Sachverstand der BfG unerlässlich.

Soweit möglich, muss auch der Blick „nach vorn“ stattfinden. Forschung und Entwicklung insbesondere bei leistungsstarken Peilsystemen sind hochwirtschaftlich für Verwaltung und Verkehrswirtschaft. Angesichts der aktuellen Situation ist aber ein angemessener Ressourceneinsatz im Spannungsfeld wichtiger Umsetzungs- und F&E-Aufgaben zu bewältigen.

4 Ausblick – Aufgabenentwicklung und Schwerpunkte

Die Aufgaben der WSV werden künftig gemäß der Priorisierung des deutschen Wasserstraßennetzes noch differenzierter wahrzunehmen sein. Die Netzkategorisierung wird auch für die geodätischen Leistungen im Vorrangnetz einen Bedeutungszuwachs erlangen; gleichzeitig kann dies in nachrangigen Netzteilen zur einer Aufgabenreduzierung führen. Die bestehenden Peilkonzepte werden diesen Trend in ihrer Fortschreibung berücksichtigen.

Die verkehrlichen Herausforderungen an Wasserstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen werden angesichts der knappen Ressourcen weiter wachsen. Genauere und aktuellere Peilungen sowie eine enge Verschneidung mit bautechnischen und telematischen Optimierungen (ECDIS, Engpassanalysen) werden zu erwarten sein. Insbesondere die hochleistungsfähigen, gut ausgerüsteten Binnenschiffe werden das angebotene Gewässerbett bestmöglich ökonomisch ausnutzen wollen (z. B. an Rhein oder Tideelbe). Hier sind aktuelle, genaue und gut mit den Nutzern kommunizierte Peilergebnisse gefordert.

Die Planungen von Ausbaumaßnahmen an Flüssen und Kanälen stehen zunehmend im Blickfeld einer integralen Betrachtung von Eingriffen in die Umwelt. Die Dokumentation von Veränderungen im Gewässer mittels digitaler Geländemodelle (DGM) wird die Kommunikation mit allen Projektbefürwortern und Projektgegnern, aber auch den Planungsprozess deutlich unterstützen.

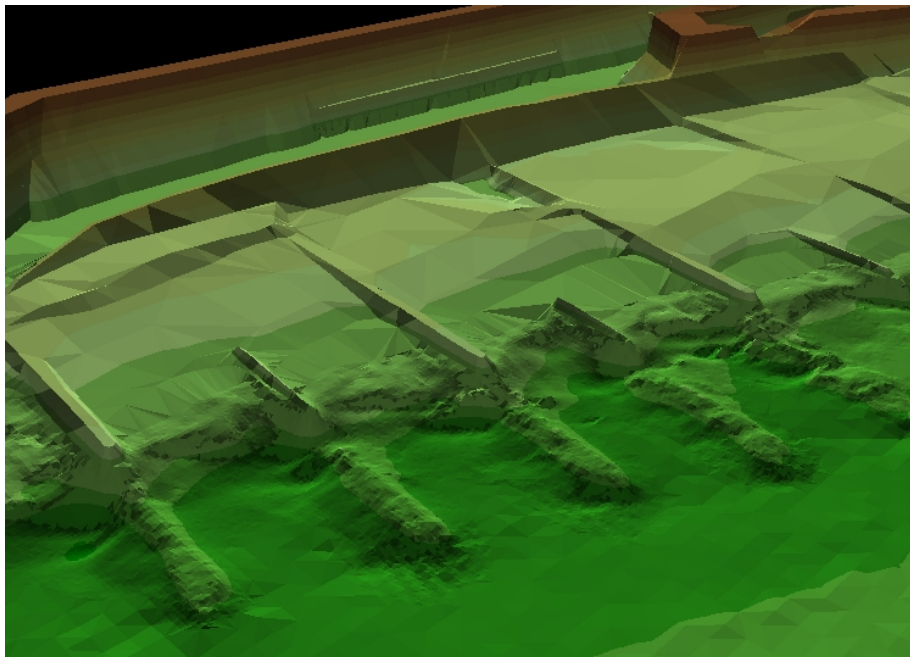


Abb. 2: Digitales Geländemodell Niederrhein (Grundschwellen bei Emmerich)

Die Sicherheit von Bauwerken sowohl an verkehrlich beanspruchten als auch an Abschnitten ohne Verkehr hat sehr hohe Priorität. Eine effiziente Einschätzung der Bauwerkszustände und -bewegungen durch eine leistungsfähige Bauwerksvermessung ist unabdingbar. Hier ist eine fachwissenschaftliche Beratung zur Optimierung der WSV-Ressourcen sehr hilfreich.

Insgesamt zeigt sich, dass im Portfolio der BfG die Aufgabe im Bereich der Geodäsie einen besonders hohen Stellenwert zu den operativen Aufgaben der WSV hat. Fachkunde, WSV-Erfahrungen und -kenntnisse sowie gelebtes Engagement der BfG-Mitarbeiter bilden das Grundgerüst zur erfolgreichen Zusammenarbeit. Auch künftig müssen sich die Ressourcen von WSV und BfG ergänzen und mit hoher Priorität bereitgestellt werden.



Kontakt:

Dipl.-Ing. Michael Heinz

Generaldirektion Wasserstraßen und
Schifffahrt

Außenstelle West

Cheruskerring 11

48147 Münster

Tel.: 0251/ 2708 401

Fax: 0251/ 2708 115

E-Mail: michael.heinz@wsv.bund.de

1978-1984

Studium Bauingenieurwesen
Technische Hochschule Darmstadt

1984-1986

Referendariat Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
des Bundes

1986-1987

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd
Dezernent für Donau und Main-Donau-Kanal

1987-1990

Neubauabteilung für den Ausbau des Mains
Sachbereichsleiter für Strecken und Anlagen

1990-1992

Wasser- und Schifffahrtsamt Köln
Sachbereichsleiter für Wasserstraßenaufsicht,
Gewässerkunde, Vermessung, Liegenschaften

1992

Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein
Leiter der Außenstelle Wesel

1992-2003

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadt-
entwicklung

Referent in den Referaten:

- Technische Grundsatzangelegenheiten,
- Wasserstraßenmanagement Binnen
- Controlling

Seit 2003

Wasser und Schifffahrtsdirektion West, Münster
Leiter des Dezernates Regionales Management
Seit 2006

zusätzlich Leiter des Dezernates Neubau

Seit 2011

Vizepräsident der Wasser- und Schifffahrtsdirek-
tion West

Weitere Tätigkeiten und Mitgliedschaften

- Hafenbautechnische Gesellschaft (HTG)
- Verein für europäische Binnenschifffahrt
und Wasserstraßen (VBW)
- Wissenschaftlich-technischer Ausschuss
der DST

Trends in der Seevermessung und den nautischen Informationen

Thomas Dehling

1 Mit allen Sinnen messen

Betrachtet man die Entwicklung bei den Sensoren und Plattformen für die Seevermessung, so ging es in der Vergangenheit vor allem darum, die bestehenden Verfahren zu verfeinern. Inzwischen kommen aber auch immer mehr alternative Verfahren auf und man setzt nicht nur auf die Hydroakustik. Man könnte auch sagen, wir „hören“ nicht nur die Tiefe mit dem Echolot oder fühlen sie bei der Wracksuche mit dem Taucher, sondern messen mit allen Sinnen. Neben den luft- und weltraumgestützten Verfahren werden autonome und ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge weiter an Bedeutung gewinnen. Das bemannte Boot bzw. Schiff wird auf absehbare Zeit dennoch die wesentliche Plattform bleiben. Man kann sich aber stärker auf die Gebiete konzentrieren, wo es seine Stärken ausspielen kann. Und diese Entwicklungen sind zwingend notwendig, um die ständig steigenden Anforderungen an die Qualität der Seevermessung auch in Zukunft wirtschaftlich erfüllen zu können.

Dieses Papier beleuchtet jeweils exemplarisch aktuelle Entwicklungen bei den Sensoren und Plattformen, der Auswertung und den Produkten.

2 Projekt Laserbathymetrie

2.1 Veranlassung des Projektes

Das Airborne Laserscanning ist seit einigen Jahren bei trockenfallenden Wattflächen im Einsatz. Da der eingesetzte Laser im nahen Infrarot von der Wasseroberfläche reflektiert wird, eignet er sich nicht für die Messung unter Wasser. Dafür wurde ebenfalls vor einigen Jahren die Laserbathymetrie entwickelt, die zusätzlich einen grünen Laser einsetzt. Bei dem Verfahren wird die Differenz der Laufzeit beider Signale gemessen. Man bestimmt also die aktuelle Wassertiefe und muss die Messungen anschließend auf eine Bezugshöhe beschicken.

Damit der Laserstrahl in das Wasser tief genug eindringt, braucht man quasioptische Sicht, was das Verfahren bisher auf sehr klare Gewässer wie zum Beispiel an der australischen Küste beschränkt hat. Auch die Genauigkeiten waren bisher nicht befriedigend für einen Einsatz in deutschen Seegewässern.

Die technische Weiterentwicklung des Verfahrens, zum Beispiel die Full-Waveform-Analyse und höhere Taktraten der Laserstrahlen lassen nunmehr einen gründlichen Test sinnvoll erscheinen.

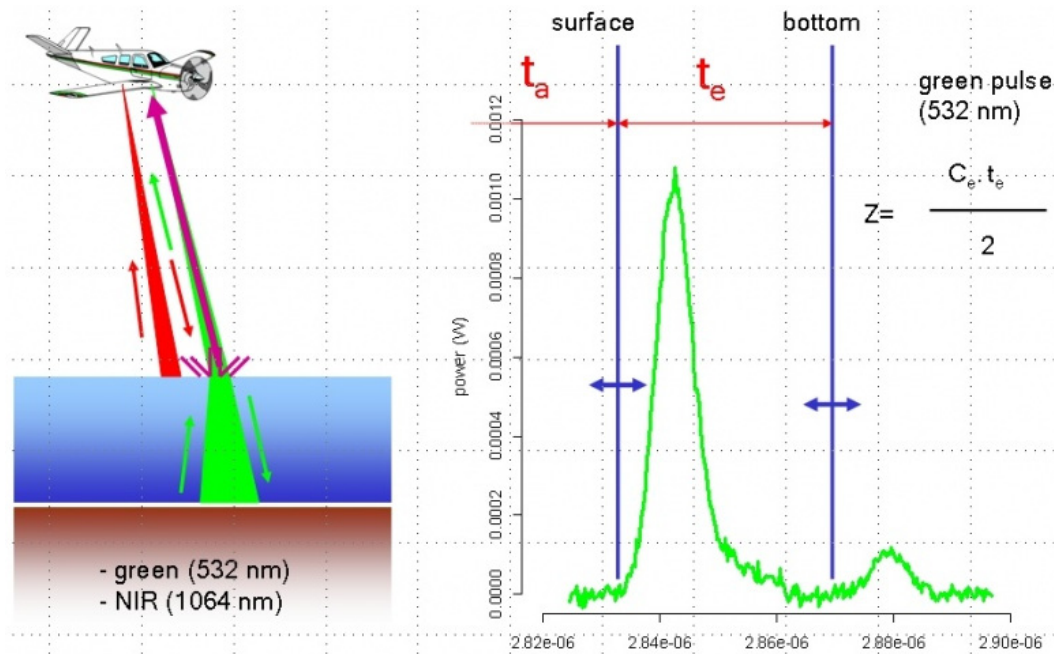


Abb. 1: Prinzip der Laserbathymetrie mit zwei Farben (links) und der Full-Waveform-Alanalyse (POPULUS)

2.2 Ziele und Durchführung des Projektes

Gerade die flachen Bereiche der Ostsee sind ein mögliches Einsatzgebiet, zumal es bei der Echolotung besonders aufwändig ist.

Die wesentlichen Ziele des Projektes sind, Aussagen zu treffen über

- > die Wirtschaftlichkeit
- > die Qualität der Vermessung entsprechend den Anforderungen der Internationalen Hydrographischen Organisation
- > die Detektion von Objekten auf dem Meeresgrund
- > die Ableitung der Küstenlinie
- > die maximale und minimale zu messende Tiefe

Für das Projekt konnte die Leibniz Universität Hannover als Auftragnehmer gewonnen werden. Es hat eine Laufzeit von 2012 bis 2014.

Ein etwa 345 km² großes Testgebiet in der Wismarbucht soll dreimal befliegen werden.

Ein offenes Gremium aus assoziierten Partnern aus Forschung und Verwaltung begleitet das Projekt.

2.3 Erste Ergebnisse

Im November 2012 fand der erste Flug statt. Den Auftrag erhielt die Firma Milan, die das System Riegl VQ 820G eingesetzt hat, um das Gebiet mehrfach in verschiedenen Flughöhen zu vermessen. Die ausgewerteten Daten liegen bisher nur zum Teil vor. Es lässt sich aber bereits feststellen, dass die Messungen deutlich höher aufgelöst sind in Wassertiefen bis zu 5-6 m (etwa 5 Punkte/m²), was auch der gemessenen Secchi-Tiefe und damit den Angaben des Herstellers entspricht. Jenseits dieser Tiefe nimmt die Datendichte rapide ab. Ob der durch die Strahldivergenz große Footprint am Meeresboden ausreicht, Objekte ab 2 m Kanalenlänge zu identifizieren, muss noch untersucht werden. In dem Testgebiet wurden parallel schiffsgestützte Kontrollmessungen durchgeführt.

Weitere Flüge mit modifizierten Anforderungen sind für 2013 und 2014 geplant.

3 Von der TKS zur GDI

Das Auswerteverfahren wird in diesem Jahr umgestellt. Die Topographische Karte des Seegrundes (TKS) als Produkt wird ersetzt. Gerade die aus wirtschaftlichen Gründen vielfach notwendigen Vertikallotungen erfordern deutlich mehr Arbeit in der Auswertung. Bisher floss der Fachverstand der Auswerter in die Interpretation der Tiefenlinien ein. Zukünftig wird die Topographie durch Strukturinformationen wie Bruchkanten, Talwege oder Kuppen modelliert. Das Ergebnis ist ein Modell, das trotz der lückenhaften Vertikallotungen den Meeresboden und die Wattflächen gut beschreibt. Dieses Modell bildet damit die Geobasisdaten über die Topographie des Meeresbodens. Abgeleitet wird daraus das Standardprodukt für die Geodateninfrastruktur (GDI) als ein Gittermodell mit 50 m Gitterweite, das jeweils die aktuellsten Vermessungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) umfasst.

4 Geodaten für alle

Die Entwicklung bei der Nutzung von Geodaten war in den letzten Jahren rasant und wird zukünftig sicher noch weiter an Fahrt gewinnen. Vor allem die Novelle des Geodatenzugangsgesetzes (GeoZG) im November 2012, die u. a. die geldleistungsfreie Nutzung der Geodaten des Bundes für kommerzielle und nichtkommerzielle Zwecke einführt, kann den Markt mit Geodaten weiter beleben.

Geodaten erwartet jeder überall und ständig. Es wird neue Kunden, neue Produkte und Produzenten geben, aber auch neue Datensammler, wie etwa durch das Crowdsourcing. Der Markt wird vielfältiger, Produkte werden kurzlebiger. Hier muss sich der Staat darauf konzentrieren, im Rahmen der Daseinsvorsorge gute Basisprodukte bereitzustellen.

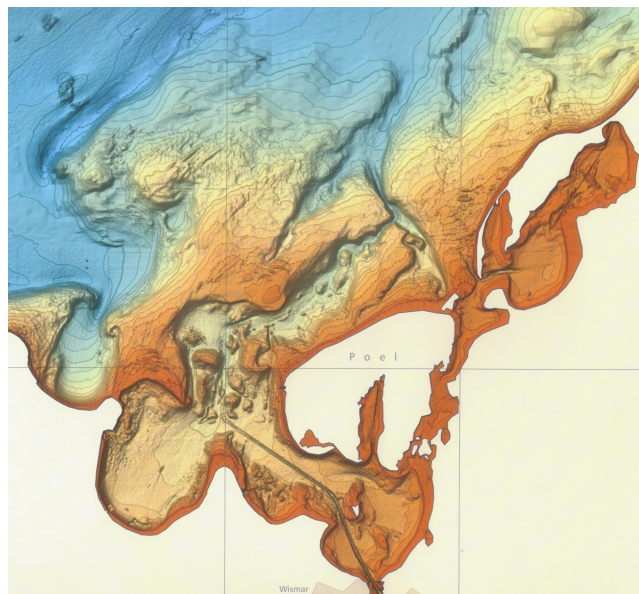


Abb. 2: Ausschnitt aus der Bathymetrischen Karte der Ostsee (BSH, IOW 2012)

5 Nautische Informationen

Das BSH passt seine nautischen Produkte ebenfalls auf die geänderten Anforderungen an. Trotz elektronischer Seekarte gibt es weiterhin einen, wenn auch veränderten Bedarf an Papierseekarten. Das Seekartenwerk wird verkleinert und auf einheimische Gebiete konzentriert. Die Zahl der Neuauflagen von Papierkarten und Electronic Navigational Charts (ENC) steigt, beide Produkte werden aktueller sein.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Geodaten im Bereich der Hydrographie gewinnen mehr und mehr an Bedeutung. Um die steigenden Anforderungen der Kunden an diese Daten auch zukünftig erfüllen zu können, müssen die Aufnahmeverfahren, deren Auswertung und die daraus abgeleiteten Produkte ständig angepasst werden. Der Anspruch auf kostenfreie Datenabgabe nach dem GeoZG wird diese Entwicklung weiter beschleunigen.

Literatur

BÜTTNER, A.: Laserbefliegung, Vortrag am 23.01.2013, Rostock, unveröffentlicht.

NIEMEYER, J.: Projekttreffen Laserbathymetrie, Vortrag am 23.01.2013, Rostock, unveröffentlicht.

POPULUS, J.: Use of Lidar for coastal habitat mapping. Vlaams Instituut voor de Zee, www.vliz.be/wiki/Use_of_Lidar_for_coastal_habitat_mapping (letzter Zugriff 13.03.2013).



Kontakt:

Thomas Dehling

Bundesamt für Seeschifffahrt
und Hydrographie

Neptunallee 5

18055 Rostock

Tel.: 0381/ 4563 719

Fax: 0381/ 4563 948

E-Mail: thomas.dehling@bsh.de

Jahrgang: 1963

1985-1988

Studium Vermessungswesen an der Universität der
Bundeswehr in München

1994-1997

Referendariat und zweites Staatsexamen beim
Bundesland Schleswig-Holstein

1984-1994

Offizierlaufbahn bei der Bundeswehr

1997-1998

Assessor bei einem ÖbVI in Berlin

seit 1998

BSH, zunächst als Leiter der Seevermessung und
Wracksuche Nordsee. Seit 1999 Referatsleiter
„Seevermessung und Geodäsie“

IHO Capacity Building Subcommittee Chairman

2. Vorsitzender der DHyG

Schleusenbaustellen unter messtechnischer Aufsicht – das richtige Maß

Joachim Saathoff

1 Einleitung

Beim Neubauamt Hannover werden gegenwärtig mehrere große Schleusenbauvorhaben realisiert. Am Wasserstraßenkreuz Minden wird neben der bestehenden fast 100 Jahre alten Schachtschleuse ein neues Bauwerk mit größeren Abmessungen errichtet. An der Mittelweser bei Dörverden ersetzt eine neue Schleuse die vorhandene Schleppzugschleuse. Und am Stichkanal nach Hildesheim wurde die neue Schleuse Bolzum im November 2012 für die Schifffahrt freigegeben. Bei allen Projekten waren schwierige bautechnische Herausforderungen zu bewerkstelligen. Mit der Beobachtungsmethode in Form einer messtechnischen Überwachung wurden die einzelnen Bauausführungsphasen begleitet.

2 Problemstellung großer Baugruben bei Schleusenneubauten

Beim Bau von Großschifffahrtsschleusen werden in der Regel tiefe Baugruben errichtet. Bei jeder Baugrube gelten individuelle bautechnische Anforderungen. In Minden wird die Baugrube in einem Achsabstand von nur 52 m neben der bestehenden Schachtschleuse abgeteuft. Die Baugrube ist ca. 20 m tief. Um die Gebrauchstauglichkeit der bestehenden Schleuse für die Dauer der Baumaßnahme nicht zu beeinträchtigen, wird ein steifer und verformungsarmer Baugrubenverbau ausgeführt. Die überschnittene Bohrpfahlwand wird mehrlagig rückverankert.

In Dörverden wird zum ersten Mal in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung eine Schleusenkammerwand als Bohrpfahlwand ausgeführt. Bisher sind Spundwandbauweisen und Stahlbetonbauweisen bekannt. Zusätzlich wird eine rückverankerte Unterwasserbetonsohle als Auftriebssicherung der Sohle ausgeführt.

In Bolzum sind die komplexen Baugrundverhältnisse maßgebend für die bauliche Umsetzung. Der Baugrund besteht aus klüftigem, nicht standfestem Fels, und die Baugrundsichtung verläuft nicht parallel, sondern stark einfallend. Der Verbau muss sehr verformungsarm ausgebildet werden. Bei zu großen Verformungen der Wand besteht die Gefahr, dass es lokal zu Spannungsspitzen in der Verbauwand kommen und ein plötzliches Versagen eintreten kann. Dies muss verhindert werden.



Abb. 1: Bundeswasserstraßenkarte



Abb. 2-4: Luftbilder der Baumaßnahmen
Neubau der Weserschleuse Minden
(2), Neubau Schleuse Bolzum (3),
Neubau Schleuse Dörverden (4)

3 Zweck und Konzeption der messtechnischen Überwachung

Neben den anspruchsvollen Bautätigkeiten erfordert die Erstellung der Schleusen eine umfangreiche und permanente messtechnische Überwachung. In der Bauausführungsphase dienen die Messungen der Qualitätskontrolle und geben damit wichtige Informationen über die einwandfreie Planung und Bauausführung. Sie können aber auch zur Beweissicherung herangezogen werden.

Für die Konzeption können als Regelwerke die Verwaltungsvorschrift VV-WSV 26 02 „Ingenieurvermessung im Bauwesen“ für das Erstellen der Messprogramme und die Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben EAB für die Konzipierung der messtechnischen Überwachung herangezogen werden. Die aktuelle EAB 2012 (5. Auflage) dient als Leitfaden für die Umsetzung. Im Folgenden wird auf die EAB 2012 näher eingegangen.

Zunächst wird der Frage nachgegangen, bei welchen Baumaßnahmen eine messtechnische Überwachung sinnvoll ist? Hierzu ist in der EAB eine Einteilung der Baugruben in geotechnische Kategorien (GK) aufgenommen worden (Tabelle 1). Sind Baugruben der GK 3 zugeordnet, ist generell ein geeignetes Messkonzept zu erarbeiten und umzusetzen! Bei der Einstufung in die GK 2 ist projektspezifisch über eine messtechnische Begleitung zu entscheiden. Bei der GK 1 kann auf eine messtechnische Überwachung verzichtet werden.

Die Baugruben der Schleusen Minden, Dörverden und Bolzum sind der GK 3 zu zuordnen.

Tabelle 1

Geotechnische Kategorien für Baugruben nach EAB 2012 *)

Geotechnische Kategorie 1	Geotechnische Kategorie 2	Geotechnische Kategorie 3
Baugrubenwand		
<ul style="list-style-type: none"> - Unverankerte oder gestützte Spundwände und Trägerbohlwände bis 3 m Baugrubentiefe - Normverbau nach DIN 4124 - Böschungen bis 3m - Unterfangung nach DIN 4123 mit einer freien Höhe $\leq 0,5$ m 	<ul style="list-style-type: none"> - Baugrubenwände bis 10 m Baugrubentiefe - Baugrubenwände als Bohrpfehl- und Schlitzwände - Unterfangung nach DIN 4123 mit einer freien Höhe $> 0,5$ m 	<ul style="list-style-type: none"> - Baugruben neben verschiebungs- und setzungsempfindlichen Gebäuden - Baugrubenwände, die geringe Verschiebungen aufweisen müssen - Baugrubenwände mit mehr als zwei Steifen- und Ankerlagen
Dichtsohle		
<ul style="list-style-type: none"> - Keine Dichtsohle 	<ul style="list-style-type: none"> - Unverankerte Unterwasserbetonsohlen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verankerte Unterwasserbetonsohlen - Tiefliegende Dichtsohlen
*) Tabelle ist nicht vollständig		

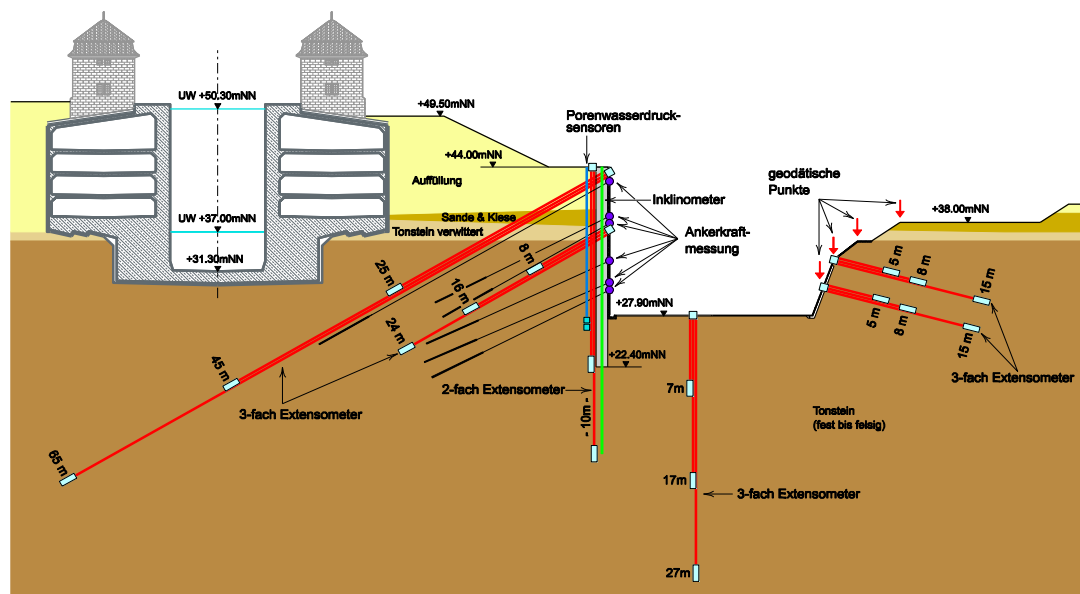
Die Aufstellung eines angemessenen Messkonzeptes ist Teil der Entwurfs- und Genehmigungsplanung, in der Art und Umfang der durchzuführenden Messungen vorgegeben werden. Es ist damit Bauherrenaufgabe.

Ist eine messtechnische Begleitung der Baumaßnahme geboten, sind Messgrößen und Messverfahren festzulegen. Als Messgrößen können Verschiebungen, Verformungen, Kräfte, Drücke und Wasserstände gelten. Bei den Messverfahren ist zu entscheiden, ob zeitlich diskrete und/oder kontinuierliche Messungen durchgeführt werden sollen. Automatische Messverfahren erweisen sich in der Regel bei großen Datenmengen als sinnvoll. Verschiebungen der Baugrubenwände können geodätisch mit Nivelliergeräten und über die Tiefe mit Inklinometern ermittelt werden. Anker- und Steifenkräfte werden mit Kraftmessdosen gemessen. Und Porenwasserdruckaufnehmer dienen zur Ermittlung des GW-Potenzials in den einzelnen Bodenschichten.

Weiterhin sind Gefahrenszenarien und Risiken zu bewerten, die den Verlust der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit zur Folge haben können. Es sind Schwellen-, Eingreif- und Alarmwerte zu definieren, und daraus sind Alarmpläne zu erstellen. Bei Erreichen der Schwellenwerte ist die Aufmerksamkeit zu erhöhen und das Messintervall zu verdichten. Sind die Eingreifwerte erreicht, werden Zusatzmaßnahmen in enger Abstimmung zwischen Planer und Bauausführendem veranlasst. Bei Überschreiten der Alarmwerte sind unverzüglich Sicherungsmaßnahmen zum Schutz von Personen und Sachen einzuleiten.

Messstellen werden in Bereichen der Baugrube mit besonderem Gefährdungspotenzial z. B. bei angrenzender Bebauung angeordnet. Es ist darauf zu achten, dass die gewonnenen Daten auf einen möglichst großen Bereich der Baugrubenumschließung übertragbar sind (homogene Baugrubenwandabschnitte). Mit der Durchführung von Messungen ist mit ausreichend langem Vorlauf (Nullmessung) zu beginnen. Sie sind vor und nach wesentlichen Lastfällen und in ausreichender Messdichte (Intervall) vorzunehmen. Bei der zeitnahen Auswertung und Dokumentation sind die Messwerte zu visualisieren, Plausibilitätsprüfungen und Interpretationen der Ergebnisse durchzuführen. Es sind regelmäßig Messberichte zu erstellen und die Daten in eine Datenbank zur Speicherung abzulegen.

An den Baugruben der Schleusen Minden, Dörverden und Bolzum sind bezogen auf die spezifischen Gegebenheiten mehrere Messquerschnitte angeordnet worden. Bei der Schleuse Minden sind insgesamt vier Messquerschnitte vorhanden. In Abb. 5 ist der Messquerschnitt 3 dargestellt. Die Verformungen der Bohrpfahlwand werden mittels Inklinometer gemessen und die Ankerkräfte mit Ankerkraftmessdosen. Für die Beurteilung der Verformungen des Bodenkörpers unterhalb der alten Schleuse sind mehrfach Stangenextensometer eingebaut worden. Zusätzlich werden die Grundwasserstandsdaten erfasst und die Hebung der Baugrubensohle gemessen.



An der Schleuse Dörverden werden zusätzlich zu den Verformungen der Bohrpfahlwand Hebungen der Unterwasserbetonsohle mit 6fach Extensometer gemessen. In Abb. 6 ist der Messquerschnitt 2 dargestellt.

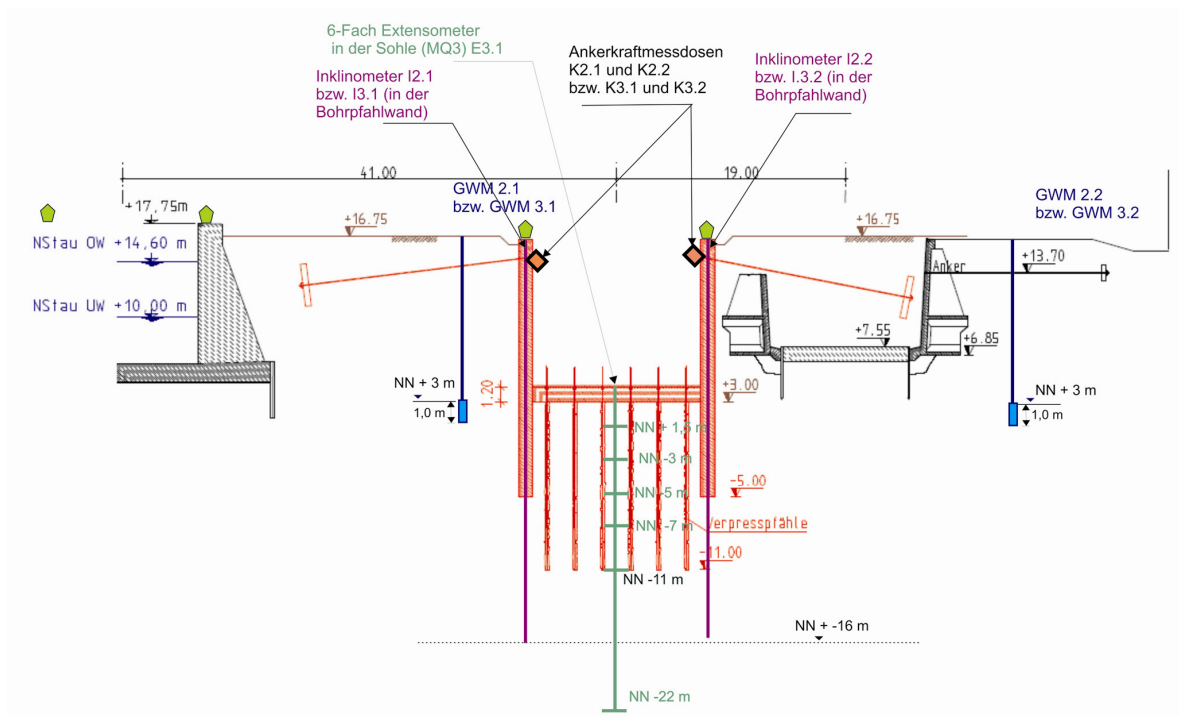


Abb. 6: Messquerschnitt 2 der Schleuse Dörverden

Die Verformungen der Baugrubenwand sind beispielhaft für den Messquerschnitt 2 in Abb. 7 dargestellt. Bei der westlichen Wand unterschritten die gemessenen Verformungen die berechneten. Bei der östlichen Wand gab es hingegen geringe Überschreitungen. Der Schwellenwert wurde erreicht. Das Messintervall wurde verringert. Da der Eingreifwert jedoch nicht erreicht wurde, mussten keine weiteren Maßnahmen eingeleitet werden.

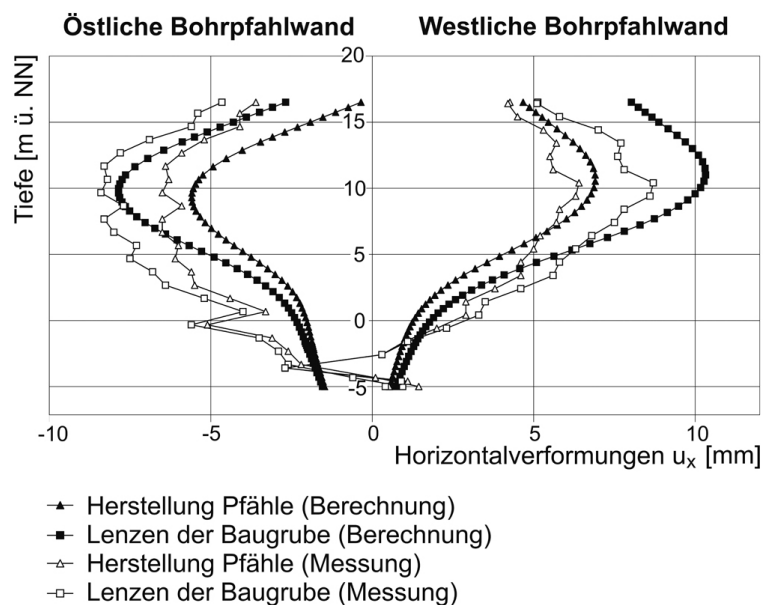


Abb. 7: Verformungen der Baugrubenwand im MQ 2 bei der Schleuse Dörverden

5 Zusammenfassung und Fazit

Bei komplexen Schleusenbaumaßnahmen ist eine baubegleitende messtechnische Überwachung fester Bestandteil der sicheren Bauausführung. Sie dient zum einen der Qualitätskontrolle und zum anderen der Beweissicherung. Im Neubauamt Hannover wurden in den letzten Jahren hiermit gute Erfahrungen gesammelt. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es wichtig, frühzeitig, d. h. in der Entwurfsplanungsphase, Art und Umfang der messtechnischen Überwachung festzulegen. Der Bauherr erhält dadurch auch Informationen über den entstehenden Aufwand und über die Kosten der messtechnischen Überwachung. Das richtige Maß ist individuell für die jeweilige Baumaßnahme zu ermitteln. Hierbei unterstützen die Bundesanstalt für Wasserbau und die Bundesanstalt für Gewässerkunde als gutachterliche Berater.

Literatur

Handbuch Eurocode 7 Geotechnische Bemessung - Band 1. Hrsg. DIN, Ausgabedatum 2011-05, 1. Auflage, 268 S.

EAB - Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.), 5. vollständig überarbeitete Auflage, Ernst & Sohn, Sept. 2012, XVIII, 332 S.



Kontakt:

Joachim Saathoff

Neubauamt für den Ausbau
des Mittellandkanals in Hannover
Nikolaistraße 14/16
30159 Hannover

Tel.: 0511/ 9115 5500

Fax: 0511/ 9115 5140

E-Mail: joachim.saathoff@wsv.bund.de

Jahrgang: 1969

1989-1995

Studium Bauingenieurwesen an der Universität
Hannover

1995-1998

Technischer Angestellter beim Neubauamt
Hannover

1998-2000

Referendariat bei der Wasser- und Schiff-
fahrtsverwaltung des Bundes

2000-2003

Projektleiter für den Neubau der Schleuse Sül-
feld

seit 2003

Sachbereichsleiter beim Neubauamt Hannover

Vermessungswesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes – eine Positionsbestimmung

Dirk Jacke

1 Einleitung

Das Aufgabenfeld Vermessungswesen deckt ein breites Spektrum an wasserstraßenspezifischen Fachaufgaben ab. Es bietet grundsätzlich viele Freiheitsgrade, also genügend Raum für eine Positionsbestimmung und Identifikation künftiger Herausforderungen. Dabei wird auf die Schwerpunkte: Vermessung, Kartenwesen und Peilwesen in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) fokussiert, die man auch unter dem Begriff Geoinformations-Erfassung und -bereitstellung subsumieren kann.

2 Rechtliche Rahmenbedingungen

Bis vor kurzem gab es für Bundesbehörden keine spezialgesetzlichen Regelungen für die Erfassung und Bereitstellung von Geoinformationen. Die Bundesländer leiteten aus dieser „Nichtbenennung im Grundgesetz“ eine verfassungskonforme Zuständigkeit für das „amtliche Vermessungswesen“ ab und haben dies durch Vermessungs- und Katastergesetze ausgefüllt. Diese Zuständigkeit ist unbestritten.

Mit dem Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) und dem Bundesgeoreferenzdatengesetz (BGeoRG) wurden Kompetenzen des Bundes und seiner Bundesbehörden – u. a. auch für die WSV – auf dem Gebiet des Geodatenmanagements begründet. Beide Gesetze enthalten jeweils eine Verordnungsermächtigung zum Erlass einer Geodatennutzungsverordnung (GeonutzV) bzw. einer Technischen Richtlinie zum BGeoRG (TR BGeoRG).

Darüber hinaus hat die WSV in ihrem Kerngeschäft „Wasserstraßen und Schifffahrt“ zu beachten, dass die Europäische Richtlinie über harmonisierte Binnenschifffahrtswasserstraßeninformationssysteme auf den Binnenwasserstraßen der Gemeinschaft (RIS-RL) nicht durch gesonderten Rechtsakt in nationales Recht umgesetzt wurde und daher unmittelbar gilt.

Die Auswirkungen dieser Rechtsnormen auf das Aufgabenfeld Vermessungswesen der WSV werden im Folgenden beschrieben.

2.1 Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) und Geodatennutzungsverordnung (GeoNutzV)

Das GeoZG dient der Umsetzung der Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE-Richtlinie) in deutsches Recht. Es schafft den rechtlichen Rahmen für den Zugang zu Geodaten, Geodatendiensten und Metadaten von geodatenhaltenden Stellen sowie die Nutzung dieser Daten und Dienste und gilt für Bundesbehörden, die Geodaten in elektronischer Form halten. Das GeoZG benennt 34 Geodaten-Themen und regelt die Bereitstellung über Dienste. Es fordert die Interoperabilität und Bereitstellung über elektronische Netzwerke. Mit Änderung des GeoZG vom 07.11.2012 wurde die geldleistungsfreie Bereitstellung für kommerzielle und nicht kommerzielle Nutzung und Weiterverwendung sowie die Ermächtigung zum Erlass einer Geodatennutzungsverordnung eingeführt.

Die Geodatennutzungsverordnung (GeoNutzV) regelt die Nutzung von Geodaten, Metadaten und Geodatendiensten (Rechte), Quellenvermerke (Pflichten der Nutzer) sowie Haftungsbeschränkungen. Denn die Geldleistungsfreiheit für die bereitgestellten Geodaten und Geodatendienste bedeutet nicht, dass die Nutzung dieser Daten ohne jegliche Beschränkung zulässig ist. Die GeoNutzV steht im Einklang mit den Leitgedanken der Bundesregierung zu *Open Government* und *Open Data* und dient dem Abbau von Bürokratie mit einem erwarteten durchschnittlichen Einsparpotenzial in Höhe von 540.000 € pro Jahr.

Mit der einseitigen öffentlich-rechtlichen Widmung der INSPIRE-relevanten Geodaten und Geodatendienste einschließlich zugehöriger Metadaten des Bundes für den allgemeinen öffentlichen Gebrauch wird Rechtssicherheit geschaffen, so dass individuelle Lizenzregelungen entfallen können. Die GeoNutzV wird voraussichtlich im März 2013 vom Bundeskabinett verabschiedet werden.

Aufgrund dieser GeoNutzV ist die VV-WSV 12 09 Kostenerstattungsvorschrift (KEV) zeitnah anzupassen.

2.2 Bundesgeoreferenzdatengesetz (BGeoRG) und Technische Richtlinie zum BGeoRG

Das Bundesgeoreferenzdatengesetz (BGeoRG) vom 10.05.2012 gilt ab dem 01.11.2012. Es behandelt die geodätischen Referenzsysteme, Referenznetze sowie geotopographischen Referenzdaten des Bundes und schafft Voraussetzungen für qualitative und technische Vorgaben. Das BGeoRG zielt auf eine Standardisierung und Koordinierung der Geodatenbereitstellung auf Bundesebene ab. Geodätische Referenzsysteme und Referenznetze sowie geotopographische Referenzdaten für den Eigenbedarf des Bundes sollen flächendeckend bereitgestellt werden.

Mit dem BGeoRG wird das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) als selbständige Bundesoberbehörde eingerichtet. Das BGeoRG ist somit faktisch auch ein BKG-Errichtungsgesetz. Der nunmehr gesetzlich definierte Aufgabenkatalog des BKG stimmt im Wesentlichen überein mit den bisherigen Aufgaben. Außerdem wird im BGeoRG auf weitere geotopographische Referenzdaten führende Stellen des Bundes hingewiesen. Das BGeoRG gibt die Rahmenbedingungen für Technische Richtlinien vor. Der IMAGI (Interministerieller Ausschuss für Geoinformationswesen) wird ermächtigt diese Technischen Richtlinien zu verabschieden.

Die Technische Richtlinie zum Bundesgeoreferenzdatengesetz (TR BGeoRG) ist seit 28.12.2012 in Kraft. Sie gilt für Bundesbehörden und soll jährlich fortgeschrieben werden. Mit der TR BGeoRG werden Qualitätsstandards für geodätische Referenzsysteme, Referenznetze sowie geotopographische Referenzdaten festgelegt. In einer Anlage zur TR BGeoRG werden die Datensätze und Datenspezifikationen des Bundes aufgelistet. Für den „nassen“ Bereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sind dies:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG):

Einzugsgebietsgrenzen der Flüsse

Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH):

Digitales Geländemodell Meeresboden incl. Wattflächen, Seegrenzen des deutschen Küstenmeers und Electronic Navigational Charts (ENC)

WSV:

Verkehrsnetz Bundeswasserstraßen, Digitale Karte der Bundeswasserstraßen 1:2.000, Inland ENC (IENC).

Die BfG hat bei der Erarbeitung der TR BGeoRG einen wesentlichen Beitrag dafür geleistet, dass die WSV-Datenbestände in das vorgegebene geodätische Ziel-Referenzsystem ETRS89 überführt werden können.

2.3 RIS-Rahmenrichtlinie (RIS-RL)

Die RIS-Rahmenrichtlinie der EU (2005/44/EG) vom 7. September 2005 über harmonisierte Binnenschifffahrtsweginformationssysteme (RIS) auf den Binnenwasserstraßen der Gemeinschaft gibt den Rahmen für technische Spezifikationen vor. Dies umfasst u. a. ein System zur elektronischen Darstellung von Binnenschifffahrtswegkarten (Electronic Chart Display and Information System - Inland-ECDIS) und den damit verbundenen Informationen z. B. Binnenschifffahrtswegkarten (Inland ENC). Obwohl die offizielle Verabschiedung dieser technischen Spezifikation durch die EU noch aussteht, ist Deutschland den Empfehlungen der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR) gefolgt, und hat erste "Elektronische Binnennavigationskarten" für rd. 3.300 km Binnenwasserstraßen hergestellt.

3 Erforderliche Anpassungsprozesse

Rechtsnormen und technischer Fortschritt zwingen die WSV zu einem ständigen Anpassungsprozess. Im Folgenden wird auf die wichtigsten Aktivitäten eingegangen.

3.1 Anpassungsprozesse im Bereich Vermessung

Im Bereich Vermessung ist die WSV auf dem Stand der Technik. Als Beispiele sind die sichere Anwendung von GPS bzw. GNSS-Technik und die standardisierte, von der BfG organisierte Durchführung von Hauptnivelllements zu nennen. Beleg dafür ist die zum Jahresende 2012 vom BMVBS abgeschlossene Vereinbarung zur SAPOS®-Nutzung durch WSV, BSH, BfG und Bundesanstalt für Wasserbau (BAW).

Eine Transformations-Software mit verschiedenen Modulen ist für die geodätische Transformation von Koordinatenlisten (z. B. GeoBas) oder graphischen Dateien (z. B. DBWK2) einführungsreif entwickelt. Diese Transformations-Software ist konform zur TR BGeoRG, um die Geodatenbestände in das einheitliche geodätische Raumbezugssystem ETRS89/UTM-Abbildung zu überführen und damit interoperabel zu machen. Mit Zustimmung der Personalvertretung wird diese Software voraussichtlich noch im März 2013 in den Wirkbetrieb überführt werden. Danach steht die Überführung diverser Datenbestände der WSV in das geodätische Ziel-Referenzsystem an.

Immer knappere Personalressourcen machen die Beauftragung Dritter erforderlich. Das vermessungstechnische Fachpersonal soll durch noch zu entwickelnde Standards bei der Vergabe von Vermessungsleistungen, z. B. bei topographischen Aufnahmen, unterstützt werden. Zur Schonung von Personalressourcen der Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (DLZ-IT) wird derzeit auch geprüft, ob Module zur geodätischen Netzausgleichsrechnung und Nivellement-Auswertung in die Standard-Software „rmGeo“ integriert werden können.

Mit der jüngst abgeschlossenen Fortschreibung der VV-WSV 26 02 Ingenieurvermessung im Bauwesen der WSV wurden Verbesserungen eingeführt, welche das Aufstellen von Messprogrammen erleichtern sollen. Ergänzende Arbeitshilfen sind derzeit in Vorbereitung. Diese Qualitätsstandards für das Aufstellen von Messprogrammen sind hervorragend. Allerdings sind Messprogramme noch nicht für alle Bauwerke, für die dies gefordert ist, aufgestellt. Diese Quote gilt es zu verbessern. Ein umfassendes vermessungstechnisches Bauwerksmonitoring wird aufgrund der Altersstruktur der WSV-Bauwerke künftig einen noch höheren Stellenwert einnehmen.

Für den Vermessungsbereich sind Geodateninfrastruktur-Konzepte (GDI-Konzepte) zu den Themen: Ordnungssystem, Vermessungsdaten, Vermessungsprodukte und Dienstleistungen aufzustellen. Dabei kann vielfach auf Bewährtes zurückgegriffen werden. Standards für WSV-spezifische Vermessungsprodukte und Dienstleistungen sind zu definieren. Auch die erforderliche Dichte und Vermarkung im Lage- und Höhenfestpunktfeld sind im Sinne eines „virtuellen Festpunktfeldes“ zu hinterfragen. Ganz konkret ist die Integration von Teilen der bisherigen VV-WSV 11 03 Identnummern und Längen der Bundeswasserstraßen in die VV-WSV 26 01 Geodätische Ordnungssysteme vorgesehen.

Aufgrund der Konzentration auf Kernaufgaben der WSV sowie der geringen Zahl eingereicher Liegenschaftsvermessungen in der Vergangenheit wurde der Status „andere behördliche Vermessungsstelle“ im Land Bremen aufgegeben. Dies hat keine präjudizierende Wirkung auf andere Bundesländer. Diesen Sonderstatus zur Ausübung „amtlicher Vermessungen“ gewähren nach Landesrecht derzeit noch 10 Bundesländer.

Als interessante geodätische Aufgabenstellung der WSV sei an dieser Stelle auf eine Untersuchung zur Entwicklung eines Frühwarnsystems für schifffahrtsbezogenen Brückenstoß hingewiesen, die von der WSD Süd Ende 2012 beauftragt wurde. Mit Spannung werden die Ergebnisse für Ende 2013 erwartet.

Derzeit wird das Messgerätegesetz novelliert. Dabei ist vorgesehen, Vermessungsinstrumente – wie bisher – von einer „Eichpflicht“ auszuklammern, weil die geodätischen Instrumente regelmäßig überprüft werden (z. B. auf hochpräzisen Vergleichsmessstrecken) bzw. die Messungen so angelegt sind, dass eine interne Kontrolle sichergestellt ist. Das neue Gesetz hat somit keine Auswirkung auf den Vermessungsbereich der WSV.

3.2 Anpassungsprozesse im Bereich Geoinformations-/Kartenwesen

Bei der Geodatenbereitstellung verdankt die WSV ihre Spitzenposition innerhalb des BMVBS dem Know-How und Engagement der Experten des DLZ-IT, der WSV, des BSH und der BfG. Mit dem in den 90er-Jahren initiierten Projekt Wasserstraßen-Geoinformationssystem (WaGIS) wurde der Grundstein gelegt. Durch Vereinfachung und konsequente Anwendung von Geodatenstandards können wir heute ein funktionierendes GeoPortal.WSV präsentieren. Nicht nur, dass die Funktionalitäten ständig verbessert wurden. Es sind neben dem Standard-Viewer auch vielfältige Anwendungen entstanden (Geokatalog, Visualist, Wasserstraßen-Locator). Außerdem ist eine breite Palette von Geodatendiensten der WSV integriert, z. B. DBWK2, Inland ENC, Luftbilder, Wasserstraßendatenbank, Verkehrsnetz Bundeswasserstraßen, Liegenschaftsinformationssystem, usw. Darüber hinaus können Dienste Dritter einfach und problemlos ergänzt und mit den Diensten der WSV interoperabel dargestellt werden. So leistet die WSV insgesamt einen entsprechenden Beitrag für die Nationale Geodatenbasis (NGDB). Dies wird nunmehr auch durch die TR BGeoRG dokumentiert. Durch kontinuierliche Weiterentwicklung der Geodatenaufbereitung wird auch hier die Qualität gesichert bzw. verstetigt.

Die GeoNutzV macht die Anpassung der VV-WSV 12 09 Kostenerstattungsvorschrift (KEV) erforderlich. Nach einer ersten Beurteilung wird auf eine Kostenerstattung bei der Abgabe von Geodaten der WSV gänzlich verzichtet werden können mit entsprechenden Auswirkungen auf den damit verbundenen Verwaltungsaufwand. Entfallen wird das Abschließen von Vereinbarungen mit Nutzern und die damit verbundene Rechnungslegung. Für eine vollautomatisierte Bereitstellung aller WSV-Geodaten mittels Standardtechnologie bedarf es allerdings noch weiterer Anstrengungen.

Untersuchungen haben bestätigt, dass die WSV noch erhebliches Optimierungspotenzial bei der Herstellung von Inland ENC hat. Um hier Verbesserungen zu erreichen, sind bereits erste Maßnahmen veranlasst. In Verbindung mit der RIS-RL wird es unumgänglich sein, einen RIS-Index zu erstellen. Dieser Datensatz unterstützt die indirekte Georeferenzierung aller RIS-Informationen und ermöglicht damit die Verknüpfung aller RIS-Dienste im ECDIS-Standard. Die Umsetzung eines Grobkonzeptes wird in Kürze veranlasst.

3.3 Anpassungsprozesse im Bereich der Gewässervermessung (Peilwesen)

Der Charakter einer „amtlichen Gewässervermessung“ wird untermauert durch ein angewandtes Qualitätsmanagement in der Gewässervermessung der WSV (aQua-Standards) mit Qualitätshandbuch, Dokumentationen, Rollenzuweisung, Prozessbeschreibungen usw. Dieses Selbstverständnis gilt es zu kommunizieren wie z. B. auf dem Hydrographentag im Mai 2011 in Bonn oder im BfG-Kolloquium „Neue Entwicklungen in der Gewässervermessung“ im November 2012. Die aQua-Standards sind kontinuierlich weiter zu entwickeln und zu verbessern. Aktuell stehen die Ergänzung eines Schulungskonzeptes und der Aufbau eines automatisierten Auftragsmanagements an. Ein Qualitätsmanagementsystem QMS der Gewässervermessung ist im Küstenbereich bereits etabliert; seine Einführung im Binnenbereich wird angestrebt.

Am 01.09.2010 konnte nach über 20 Jahren ein neuer Peilerlass für die Binnenschiffahrtsstraßen herausgegeben werden. Die Binnendirektionen haben Fachkonzepte erstellt, die das Peilwesen auf moderne Füße stellt. Der eingeschlagene Weg, zunächst neue Flächenpeil-

schiffe mit modernen Tripple-Head-Echoloten zu beschaffen und in einen Wirkbetrieb zu überführen, wird weiter beschritten. Das gilt auch für die Realisierung einer auf die WSV zugeschnittenen Peilauswertesoftware PAUSS. Diese soll die Erzeugung von qualitätsgesicherten Standardprodukten der Gewässervermessung unterstützen. Zu diesen Standardprodukten werden auch Inland ENC mit Tiefeninformationen gehören. Darüber hinaus ist erkannt worden, dass es einer Software-Ersatzbeschaffung für die Messdatenerfassung in der Gewässervermessung bedarf.

Die BfG hat mit ihrem Forschungsbericht BfG-1743 „Untersuchung integrierter GNSS-INS-Navigationssysteme“ vom Mai 2012 erste Ergebnisse präsentiert (HENTSCHINSKI & WIRTH 2012). Das Abreißen der Satellitensignale infolge der Abschattung durch hohen Bewuchs bzw. Brücken ist durch intelligente Kopplung von schiffahrtsspezifischen Inertialsystemen und optimalen Rechenalgorithmen zu kompensieren. Die aufgezeigten Lösungsansätze sind jedoch nicht zufriedenstellend. Hier sind hoffnungsvolle Erwartungen auf die Ergebnisse der laufenden Kooperation der BfG mit der Universität Stuttgart gerichtet.

Die Erstellung Digitaler Geländemodelle (DGM) für Nord- und Ostsee ist Kernaufgabe des BSH. Diese DGM müssen kontinuierlich gepflegt und aktualisiert werden. Das bezieht sich nicht nur auf die Integration verschiedener Messgebiete aus verschiedenen Epochen durch unterschiedliche Behörden (BSH, WSV-Dienststellen, andere) sondern auch auf die INSPIRE-relevante Frage: Sollen und werden 3D-Topographiedaten von Gelände bzw. Gewässersohle künftig miteinander kombiniert? Eine Fragestellung, die zusammen mit den Ländern als Lieferant für Geobasisdaten geklärt werden muss. BSH und WSV sind bereits angetreten, entsprechende Konzepte aufzustellen.

4 Wissenschaftliche, anwendungsbezogene Beratung der WSV

Die BfG ist eine Bundesoberbehörde und das zentrale wissenschaftliche eigenständige Institut des Bundes für die wissenschaftlich-technische Versuchs- und Forschungsarbeit und die praxisbezogene Beratung der WSV in den Fachgebieten Gewässerkunde, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz. Von besonderem Interesse und für das Vortragsthema relevant ist das Referat M5 „Geodäsie“ mit seinem breiten Beratungsspektrum.

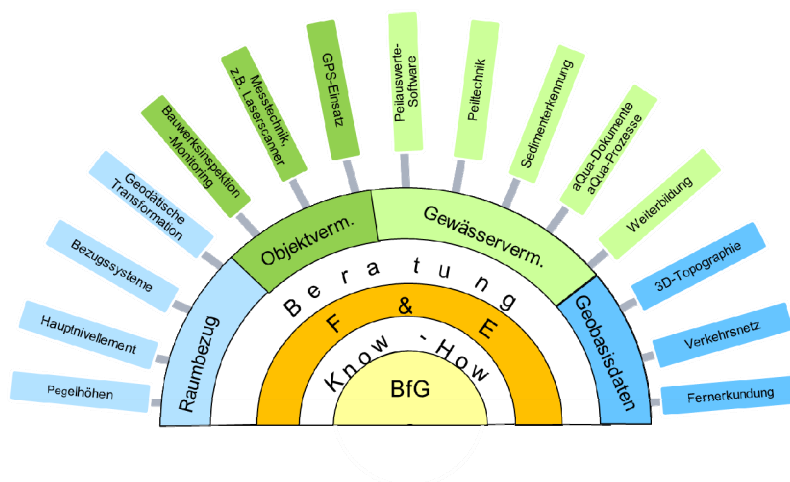


Abb. 1: Beratungsspektrum des Referates M5 „Geodäsie“

Der Vortrag „Anforderungen der WSV an die geodätischen Arbeiten der BfG“ stellt die heutigen Fachanforderungen dar. Die Beiträge aus dem ersten Vortragsblock machen den ständigen Wandel in allen Aufgabenfeldern des Referates „Geodäsie“ der BfG deutlich. Befasste sich die BfG früher intensiv mit der Anwendung und Einführung des Global Positioning Systems (GPS), so steht heute die Technik der Gewässervermessung im Fokus. Um dem aktuellen Beratungsauftrag gerecht zu werden, ist für die praktische Anwendung die Zusammenarbeit mit der Wissenschaft von unschätzbarem Wert. Sie gilt es zu forcieren, um das Know-How der BfG auszubauen und den Restriktionen knapper Personalressourcen flexibler begegnen zu können. Als erfolgversprechend sollen hier folgende Beispiele genannt werden: „Einsatz von Inertialsystemen zur Verbesserung der Ortung bei Peilschiffen“ (Universität Stuttgart) und „Pegelgestützte integrierte kinematische Analyse von rezenten Höhenänderungen am Rhein (Pelikan)“ (Universität Karlsruhe).

Darüber hinaus ist auf die vielfältige Zusammenarbeit mit dem BKG, als dem Dienstleistungszentrum des Bundes mit dem Aufgabenspektrum Geodäsie, Raumbezug und Geodatenbereitstellung hinzuweisen. Diese wird auch in Zukunft fortgesetzt. Insgesamt ist auch zu prüfen, ob die BfG nicht als „Ständiger Gast“ in die Deutsche Geodätische Kommission (DGK) aufgenommen werden sollte. Der Hinweis auf das BfG-Kolloquium am 19./20. November 2013 zum Thema „Geodätischer Beitrag zur Klimaforschung“ rundet an dieser Stelle das Beratungsspektrum ab.

5 Zusammenarbeit Bund/Länder

Die WSV ist über die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) intensiv in die Zusammenarbeit mit den Ländern eingebunden. Dies wird regelmäßig im AdV-Tätigkeitsbericht dokumentiert. Das BMVBS ist seit 1950 Mitglied in der AdV und wird dort durch die Abteilung WS (Wasserstraßen, Schifffahrt) vertreten. Der Erkenntnisgewinn fokussiert sich auf die

- > Zusammenarbeit im Grundlagentnetz aufgrund des WSV-eigenen Lage- und Höhenfestpunktfeldes (Beteiligung der BfG im Arbeitskreis Raumbezug),
- > Fortführung des ATKIS®-Basis-DLM. Hier fließen Inhalte der DBWK2 ein (Beteiligung der BfG im Arbeitskreis Topographie) und
- > Entwicklung von IT-Standards (Beteiligung des DLZ-IT im Arbeitskreis Informations- und Kommunikationstechnologie).

Diese Zusammenarbeit wird fortgesetzt mit folgenden Schwerpunkten: Standardisierung im Bereich Digitale Geländemodelle, insbesondere Verknüpfung von Geländehöhe und Wassertiefe, gegenseitige Unterstützung bei Hauptnivellements sowie Entwicklung von IT-Standards zum Datenaustausch, zur Datenbereitstellung und Performance-Verbesserung.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die aktuelle Rechtsgrundlage durch GeoZG/GeoNutzV und BGeoRG einschließlich TR BGeoRG fordert die WSV zur technischen und konzeptionellen Standardisierung der Geodatenbereitstellung über elektronische Netzwerke.

Insgesamt ist die Geodateninfrastruktur der WSV (GDI-WSV) voranzubringen. Das Angebot an Metadaten/Geodatendiensten im Sinne des INSPIRE-Monitoring bzw. des Aufbaus der Nationalen Geodatenbasis ist kontinuierlich zu steigern. Das GIS-Know-How in der WSV ist ausbauen. Es ist zu prüfen, ob das GeoPortal.WSV für die Öffentlichkeit geöffnet werden kann. Die Entwicklungen in der Fernerkundung sind zu verfolgen. Mit Spannung wird hier z. B. das Untersuchungsergebnis zur Erfassung der Gewässersohle im Flachwasserbereich mit flugzeuggestützten Sensoren erwartet. Auf den Beitrag „Trends in der Seevermessung“ und auf ein Pilotvorhaben des Wasser- und Schifffahrtsamtes Dresden an Binnenwasserstraßen wird hingewiesen.

Literatur

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV): Tätigkeitsbericht, www.adv-online.de, 2011/2012

Bundesgeoreferenzdatengesetz (BGeoRG): Gesetz über die geodätischen Referenzsysteme, -netze und geotopographischen Referenzdaten des Bundes vom 10.05.2012, BGBl. I S. 1081 (Nr. 21); Geltung ab 01.11.2012.

Geodatennutzungsverordnung (GeoNutzV): Verordnung zur Festlegung der Nutzungsbestimmungen für die Bereitstellung von Geodaten des Bundes; Entwurf 30.01.2013

Geodatenzugangsgesetz (GeoZG): Gesetz über den Zugang zu digitalen Geodaten vom 10. Februar 2009 (BGBl. I S. 278), geändert durch Art. 1 Gesetz vom 7.11.2012.

HENTSCHINSKI, M., H. WIRTH (2012): Untersuchung integrierter GNSS-INS-Navigationssysteme, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bericht BfG-1743, Koblenz.

RIS-RL: Richtlinie 2005/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. September 2005 über harmonisierte Binnenschifffahrtsweginformationssysteme (RIS) auf den Binnenwasserstraßen der Gemeinschaft, 2005

Technischen Richtlinie Bundesgeoreferenzdatengesetz (TR BGeoRG): Technischen Richtlinie zum Gesetz über die geodätischen Referenzsysteme, -netze und geotopographischen Referenzdaten des Bundes vom 10. Dezember 2012, BAnz AT 27.12.2012 B3; Geltung ab 28.12.2012.



Kontakt:

Dirk Jacke

Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung
Referat WS 12
Robert-Schuman-Platz 1
53175 Bonn
Tel.: 0228/ 300 4224
Fax: 0228/ 300 1459
E-Mail: dirk.jacke@bmvbs.bund.de

Jahrgang: 1963

1983-1989

Studium der Geodäsie an der Technischen Universität Braunschweig/Universität Hannover

1989-1991

Referendariat bei der Bezirksregierung Hannover

1992-2003

Sachbereichsleiter für Vermessungswesen, Liegenschaftsverwaltung im Wasserstraßen-Neubauamt Helmstedt

seit 2003

Referent im Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Die Realisierung des amtlichen Raumbezugs als Basis für großräumige Nutzer

Cord-Hinrich Jahn

1 Einleitung

In diesem Beitrag werden Themenfelder des bundesdeutschen Raumbezugs behandelt, die sich in den vergangenen Jahren stark entwickelt und für den Raumbezug nachhaltige Veränderungen bewirken werden.

Mit dem Beschluss des Plenums der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) zur fachlichen und inhaltlichen Fortschreibung der Festpunktfelder zu einem bundeseinheitlichen Raumbezug wurden 2004 die Weichen für einen dreidimensionalen und zugleich integrierten Raumbezug gestellt.

Die Einführung des Amtlichen Festpunktinformationssystems (AFIS) im Zuge der AAA-Einführung bedingt sowohl die Überführung der Daten des Raumbezugs in die Realisierung des amtlichen Bezugssystems ETRS89/DREF91, als auch die Abbildung im Fachschema der Vermessungsverwaltungen auf der Basis der GeoInfoDoc 6.0.

Der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS[®]) liefert seit über 10 Jahren einen wertvollen Beitrag zur Bereitstellung von Positionsinformationen im Postprocessing und in der Echtzeit. Die Nutzung der SAPOS[®]-Daten erfreut sich heute einer großen Beliebtheit, verbunden mit stetigen Steigerungszahlen.

2005 wurde ebenfalls durch das Plenum der AdV der Beschluss zur Neumessung des Deutschen Haupthöhennetzes 1992 (DHHN92) gefasst, einem Großprojekt das gemeinsam von den Bundesländern und dem Bund (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, BKG und Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG) durchgeführt wird.

2 Bundeseinheitliches Festpunktfeld

In Abb. 1 ist die Grundstruktur des 2004 beschlossenen bundeseinheitlichen Festpunktfeldes dargestellt. Die vier Säulen zeigen die Strukturen im Festpunktfeld auf der gesamtdeutschen Ebene. In den beiden mittleren Säulen sind die klassischen Höhen- und Schwerefestpunktfelder der jeweiligen 1. Ordnungen für Deutschland dargestellt.

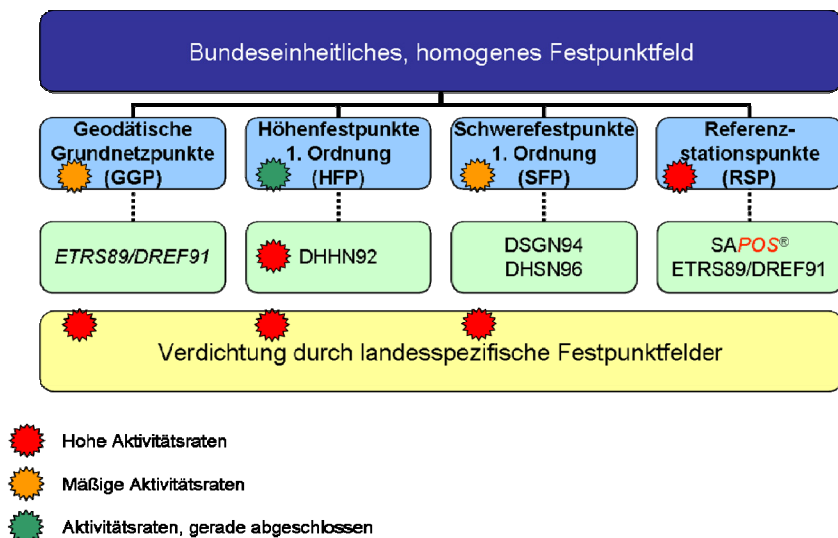


Abb. 1: Bundeseinheitliches Festpunktfeld mit heutigen Arbeitsschwerpunkten

Das Netz der flächendeckend über Deutschland verteilten ca. 270 Referenzstationspunkte ist in der vierten Säule zu sehen und bildet die Grundlage des SAPOS®-Dienstes. Geodätische Grundnetzpunkte (GGP) dienen zukünftig der physischen Realisierung und Sicherung des dreidimensionalen Raumbezugs und verknüpfen die Lage-, Höhen- und Schwerebezugssysteme vorzugsweise auf einer dreidimensional anzusprechenden Marke (Integration des Raumbezugs). Die Bestimmung erfolgt mit satellitengeodätischen Verfahren, dem Präzisionsnivelement und Schweremessungen durch Anschluss an die jeweiligen amtlichen Realisierungen der Festpunktfelder (zz. ETRS89, DHHN92, DHSN96). GGP werden periodisch überwacht und überprüft, sowie vorzugsweise im Verbund mit mehreren Ländern an das 2008 während der DHHN-Kampagne geschaffene Basisnetz angeschlossen.

Die Geodätischen Grundnetzpunkte haben einen Vermarktungsträger, der eine ausreichende Grundfläche für ein transportables Absolutgravimeter bietet (s. Abb. 2). Darüber hinaus zeigt Abb. 1 die Bezeichnungen der zugehörigen amtlichen Bezugssystemrealisierungen für die einzelnen Netze.

Farblich hervorgehoben sind die gegenwärtig in den Ländern stattfindenden fachlichen Aktivitäten. Nach Abschluss der Feldarbeiten im Projekt „DHHN-Erneuerung“ verlagern sich die Arbeiten nun in Richtung Ergebnisorientierung und Aktualisierung des Höhenreferenzrahmens sowie der Einbindung nachgeordneter Niv-Netze in diesen neuen Rahmen. Neben der

Daueraufgabe der Pflege der SAPOS®-Referenzstationen befindet sich das Geodätische Grundnetz auf der Bundesebene und in einzelnen Ländern im Aufbau.



Abb. 2: Vermarktungsträger eines Geodätischen Grundnetzpunktes (GGP)

Zum bundeseinheitlichen Festpunktfeld gehört auch das Quasigeoid für Deutschland, das vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) bereitgestellt wird (LIEBSCH 2012a) und auf einem gemeinsamen, mit dem Institut für Erdmessung der Leibniz-Universität Hannover berechneten, Ergebnis beruht (zz. aktuell das GCG2011). Durch mehrfache Aktualisierungen des Quasigeoids hat die AdV im Jahr 2012 eine Versionierung des Produktes „Quasigeoid“ beschlossen (GCG05, GCG2011). Eine Zunahme regionaler Schweremessungen in den Bundesländern in Verbindung mit den Ergebnissen der DHHN-Erneuerung wird in den kommenden Jahren zu einer weiteren Verbesserung dieses Produktes führen (LIEBSCH 2012b).

3 Amtliches Festpunktinformationssystem (AFIS)

AFIS ist das bundesweit einheitliche Nachweissystem des amtlichen Raumbezugs für die Festpunkte der Landesvermessung (HECKMANN & JAHN 2010). Die Daten werden nach dem AFIS-Objektarten- und Signaturenkatalog auf der Basis der GeoInfoDoc (AdV 2008) beschrieben und in einer eigenen Datenhaltung geführt. Über Standardpräsentationen (Einzelpunktnachweise, Punktlisten und Festpunktübersichten) werden die Daten den Kunden bereitgestellt. Die Festpunkte unterteilen sich in AFIS in die vier Objektarten, Lage-, Höhen-, Schwere- und Referenzstationsfestpunkt. Der Geodätische Grundnetzpunkt wird als Teil des Lagefestpunktes modelliert und erhält zwingend einen Schwerewert.

Abbildung 3 zeigt die für Niedersachsen erforderlichen Geschäftsprozesse, um Bestandsdaten aus AFIS in die Benutzung zu überführen bzw. Fortführungsdaten in das Nachweissystem einzupflegen. Der besondere Fokus der Abb. 3 liegt auf den verschiedenen Fachprozessen des Raumbezugs. Zur Erhebung und Qualifizierung der Daten sind differenzierte Verfahren im Außendienst und bei der Auswertung erforderlich, die sich an den unterschiedlichen Objektarten orientieren. Nach der abschließenden Berechnung werden die Ergebnisse über eine einheitliche Schnittstelle in das AFIS-System eingespielt.

Dabei bleiben die Rohdaten der einzelnen Prozesse, d. h. die Messungselemente in AFIS unberücksichtigt, da eine Speicherung in der Grundkonzeption nicht vorgesehen ist. Dieses erfolgt in eigenen Datenbanken.

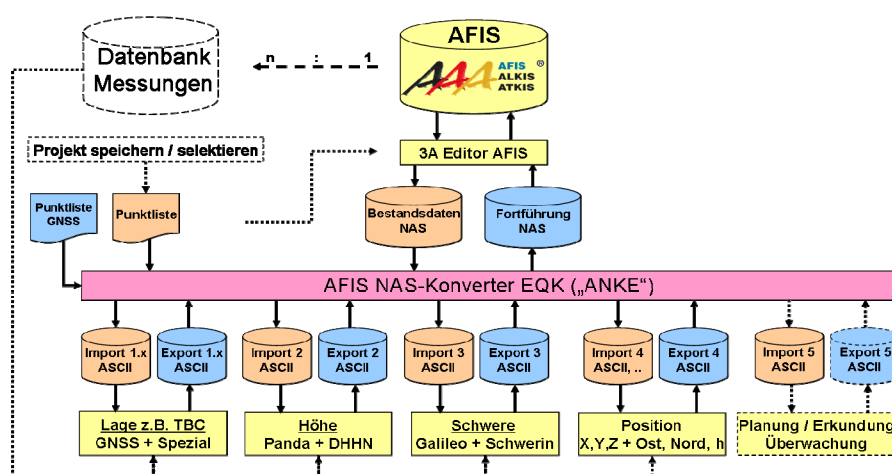


Abb. 3: AFIS mit zugehörigen Geschäftsprozessen des Raumbezugs

4 Der Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS®)

SAPOS® ist ein Produkt der AdV (SCHENK 2012). Zusammen mit dem bundeseinheitlichen Festpunktfeld stellt SAPOS® den amtlichen geodätischen Raumbezug für Deutschland flächendeckend als infrastrukturelle Grundversorgung der Länder zur Verfügung. Das Produkt SAPOS® beinhaltet die beiden Grundbausteine: SAPOS®-Referenzstationen und SAPOS®-Dienst.

Die ca. 270 Referenzstationen sind flächendeckend über Deutschland verteilt. Mit einer 24/7 Verfügbarkeit stehen die Daten der Stationen für Positionierungsaufgaben aller Art zur Verfügung. Die Koordinaten der Stationen sind in dem geodätischen Bezugsrahmen ETRS89 in der Realisierung DREF91 einheitlich und aktuell bestimmt und werden in AFIS geführt.

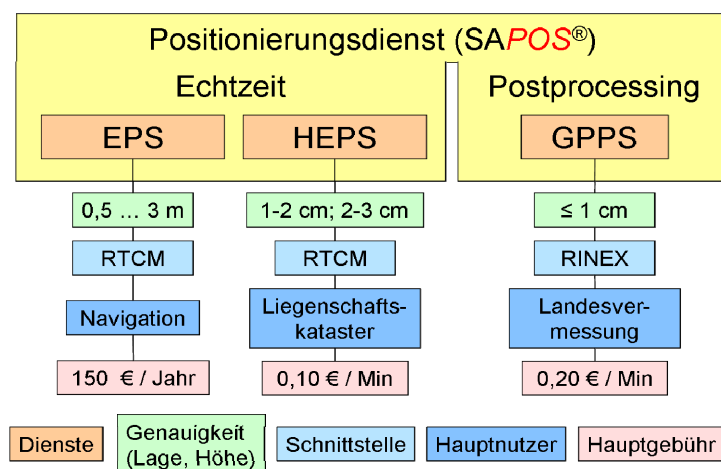


Abb. 4: Parameter des SAPOS®-Dienstes

Die SAPOS®-Daten werden mit verschiedenen Übertragungsmedien und -techniken in definierten Servicebereichen als SAPOS®-Dienste bereitgestellt. Die wichtigsten Parameter sind in Abb. 4 zusammengestellt.

Schon frühzeitig hat die AdV begonnen in Anlehnung an international anerkannte Verfahrensnormen ein Qualitätsmanagementsystem (QM-System) für SAPOS® zu entwickeln. Heute arbeiten alle SAPOS®-Betreiber auf der Basis abgestimmter QM-Normen gemeinsam im SAPOS®-Qualitätsmanagement (JAHN et al. 2011a). Gemeinsam und bundeseinheitlich abgestimmt werden Qualitätsinformationen erhoben und für die innere Betriebsführung aufbereitet. Qualitätsberichte werden der AdV übermittelt und extern bereitgestellt.

Auf der Basis von über 100 ausgewählten Themen wurden 2007 sechs Bereiche ausgewählt, die in geeigneten Betriebsstatistiken aufbereitet werden sollten. Diese Bereiche sind

- > Multipath der SAPOS®-Referenzstationen,
- > Koordinatenmonitoring der Referenzstationen im Postprocessing,
- > Verfügbarkeit der RINEX-Daten (GPPS),
- > Verfügbarkeit der Echtzeit-Datenströme an der Zentralen Stelle SAPOS®,
- > Qualität des SAPOS® HEPS an Hand des erreichten Lösungsstatus und der Zeiten zur Auflösung der Phasenmehrdeutigkeiten und
- > Nutzerresonanz des SAPOS® HEPS.

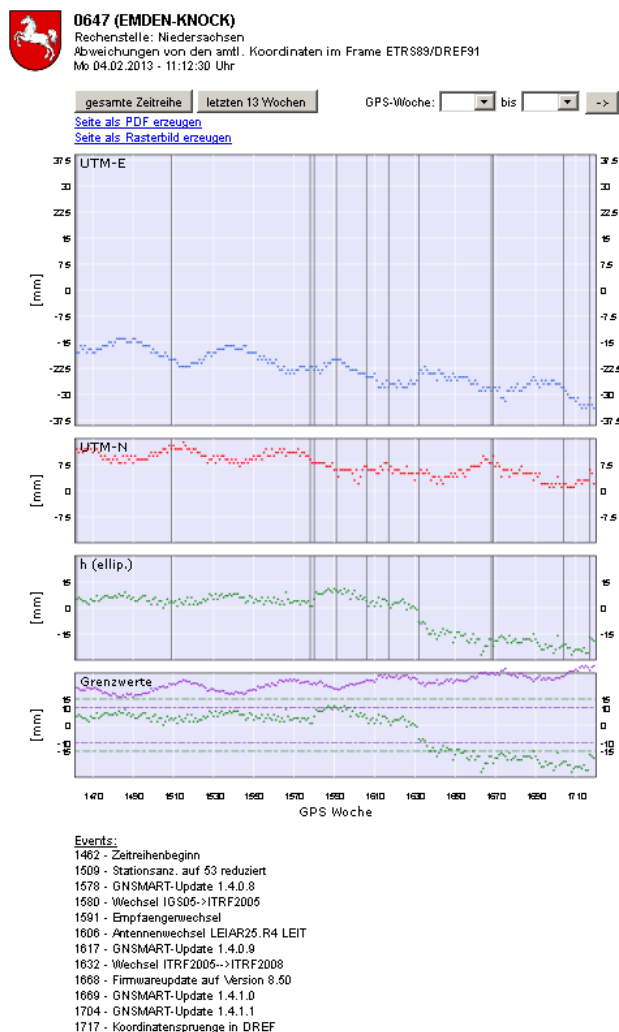


Abb. 5: Koordinatenmonitoring im SAPOS[®]-Dienst

Am Beispiel der SAPOS[®]-Referenzstation Emden (s. Abb. 5) lässt sich die Notwendigkeit der Qualitätsprüfung verdeutlichen. Sowohl die Ost- als auch die Höhenkomponente der Stationskoordinaten zeigen in der Zeitreihe ein deutliches Bewegungsmuster. Die Ursache für diese Koordinatenänderungen sind Einflüsse eines großen Explorationsgebietes, das sowohl eine Ostbewegung, als auch eine Bodensenkung bewirkt. Betroffen ist hierbei nicht ausschließlich die Station Emden, sondern ein größeres Einflussgebiet.

SAPOS[®] befindet sich heute grundsätzlich auf dem aktuellen Stand der Technik. Das Qualitätssicherungskonzept garantiert eine ganzheitliche Überwachung aller Komponenten und erlaubt schnelle Eingriffe beim Ausfall einzelner Komponenten. Um den Dienst auch zukünftig sicher anbieten zu können, ist eine ständige Anpassung an aktuelle technische Entwicklungen erforderlich. So werden nach der erfolgreichen Integration der GLONASS-Daten in den vergangenen Jahren auch die Daten von Galileo zukünftig in die SAPOS[®]-Dienste einbezogen.

Die Einführung von Galileo in SAPOS[®] erfordert neue Strategien bei der Verarbeitung und Weitergabe der Daten von Referenzstationen, insbesondere im Bereich der Schnittstellen und Datenformate.

Beachtenswert ist die Weiterentwicklung des bekannten absoluten Positionierungsverfahrens „Precise Point Positioning“ (PPP), bei dem ein einzelner Empfänger (bzw. dessen Antenne) global positioniert wird. Gelingt es dabei den vollständigen Fehlerhaushalt von Code- und Phasenmessungen zu bestimmen, kann auf einen direkten Anschluss an eine bestimmte Referenzstation verzichtet werden (Relativverfahren). Für die Realisierung dieses Konzeptes ist es erforderlich, dass einerseits die Referenzstationen als Datenlieferanten für komplexe Modellbildungen weiterhin flächendeckend zur Verfügung stehen, andererseits ein präziser GNSS-Fehlerhaushalt für eben dieses Referenzstationsgebiet berechnet und zum Nutzer übertragen wird.

Gegenwärtig wird ein Verfahren diskutiert und in ersten prototypischen Anwendungen vom Arbeitskreis Raumbezug untersucht (WÜBBENA et al. 2005), das sich PPP-SSR Verfahren nennt (State Space Representation). Dabei wird ähnlich dem klassischen Postprocessing Ansatz der komplette Fehlerhaushalt eines Gebietes von Referenzstationen in Form eines funktionalen und stochastischen Modells bestimmt (Zustandsrepräsentation) und mit den Daten eines zu bestimmenden Punktes in einer Einzelpunktbestimmung zusammengeführt. Erste Tests (s. Abb. 6) zeigen hierbei vielversprechende Ergebnisse und eröffnen einer weiteren Entwicklung neue Wege.

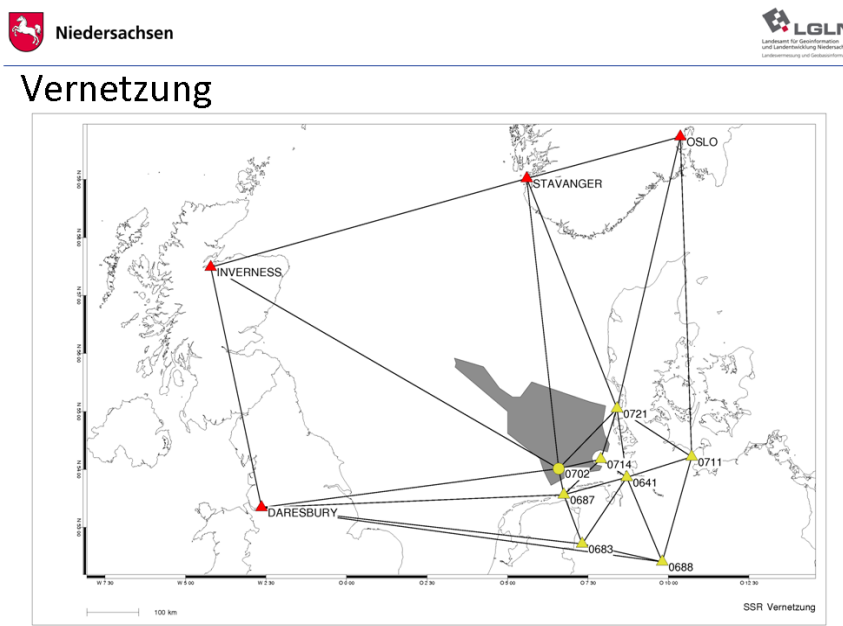


Abb. 6: SAPOS®-Testvernetzung in der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands

5 Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN)

Eines der großen Projekte des nationalen geodätischen Raumbezugs der vergangenen Jahre (JAHN 2012) ist die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes 1992 (DHHN92). Dieses Projekt hat eine bundesweite Nachmessung des im Zuge der deutschen Wiedervereinigung zusammengeführten deutschen Höhennetzes erster Ordnung zum Ziel (s. Abb. 7). Die Feldarbeiten wurden dabei in den Jahren 2006 bis 2012 durchgeführt (AdV 2009). Die in der gleichen Epoche stattgefundenen GNSS-Messungen auf 250 ausgewählten Geodätischen

Grundnetzpunkten (GGP) erfolgten im Jahr 2008. Für 100 dieser GGP wurden in den Jahren 2009 und 2010 mit dem Absolutgravimeter A10 des BKG absolute Schwerewerte gemessen. Damit konnten erstmals für ganz Deutschland innerhalb einer Messungsperiode eine hohen Anzahl bodenvermarkter Punkte mit den gängigen geodätischen Messverfahren (geometrischer und physikalischer Anteil) bestimmt werden.

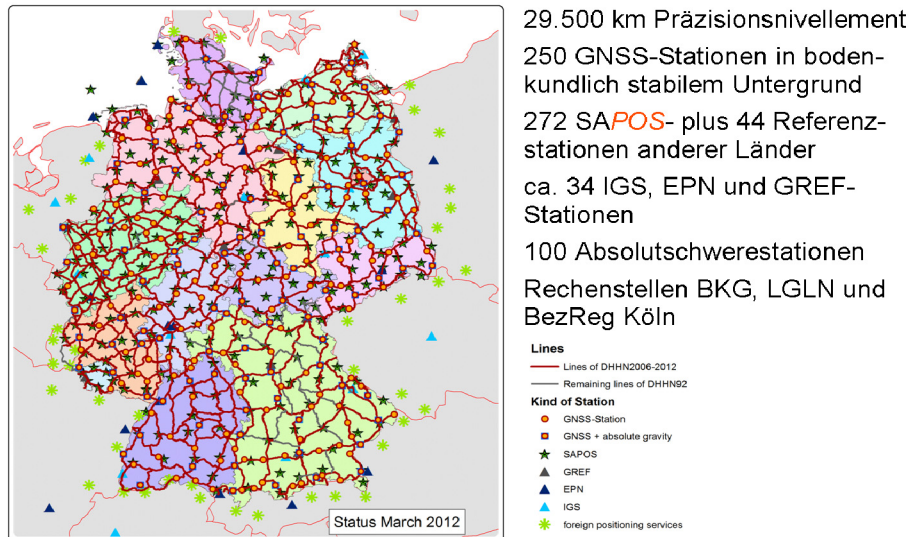


Abb. 7: Netzbild und Punktlagen des Projektes zur Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes 1992 (DHHN92)

Die Ziele des Vorhabens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- > Überprüfung des amtlichen Höhenbezugssystems,
- > Aufdeckung von Höhenänderungen und Spannungen im DHHN92,
- > Option zur Einführung eines neuen Höhenbezugssystems,
- > epochengleiche und punktidentische Messungen mit Verfahren des Präzisionsnivellements, GNSS-Verfahren und Absolutschwere,
- > Modellierung hochgenauer Quasigeoidinformationen für eine zukünftige satellitengestützte Gebrauchshöhenbestimmung,
- > Teilrealisierung des bundeseinheitlichen und homogenen Festpunktfeldes und
- > Einbindung in ein zukünftiges integriertes Raumbezugssystem..

Die ersten Ergebnisse dieser Erneuerung zeigen, dass durch die verwendeten Messverfahren die a priori geschätzten Genauigkeitsmaße noch verbessert wurden. Die Standardabweichung der freien Netzausgleichung wird mit ca. 0,66 mm das Ergebnis der DHHN92-Lösung deutlich unterschreiten. Die GNSS-Ergebnisse zeigen Standardabweichungen von 1 mm Lage- und 2-3 mm Höhengenaugkeiten und die Standardabweichung der Absolutschwere liegt bei 10-11 μGal .

Abbildung 8 zeigt eine einzelne Linie in Niedersachsen, die von Wallenhorst nach Oldenburg verläuft und in vier verschiedenen Epochen gemessen wurde (JAHN et al. 2011b). Die Differenzen auf der 100 km Linie zeigen einen systematischen Trend, der von zwei Bodensenkungsgebieten – (3) und (4) – verursacht wird, mit einer gleichmäßigen Senkung von 7mm/Jahr im Gebiet Hengstlage (4), verursacht durch Rohstoffabbau.

Die lokale Absenkung einer Brücke (1) und Auswirkungen des ehemaligen Erzbergbaus im Bereich des Oldenburger Münsterlandes (2) lassen sich aus der Detailanalyse der Nivellementsdaten ableiten.

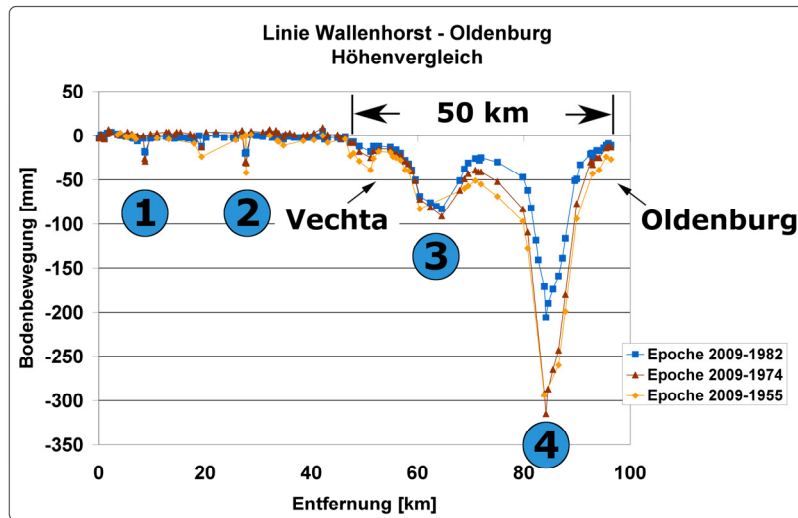


Abb. 8: Vergleich absoluter Höhen auf der Linie Wallenhorst nach Oldenburg in Niedersachsen



Abb. 9: Persistent Scatterer und Isolinien mit einer Äquidistanz von 1 mm/Jahr im Bodenbewegungsgebiet Hengstlage

Für das in Abb. 8 dargestellte Senkungsgebiet Hengstlage (4) wurden in einem Gebiet mit der Ausdehnung von 20 x 20 km Daten des SAR-Satelliten Envisat nach der PSI-Methode ausgewertet (TRIGIS 2011), wobei 30 Szenen im Zeitraum Dezember 2003 bis Juni 2010 einbezogen wurden. Das überwiegend ländlich geprägte Gebiet zeigt besonders an den vorhandenen Industrieanlagen deutliche Persistent Scatterer (Abb. 9). Mit Bewegungsraten von -11 mm/Jahr (rot) bis +5 mm/Jahr (grün) gibt es eine gute relative Übereinstimmung mit den Nivellementsergebnissen.

Das Verfahren der SAR-Interferometrie ist ein für den Raumbezug neues Messverfahren, das aus dem Bereich der Fernerkundung kommt. Es liefert unter bestimmten Voraussetzungen mehr flächenhafte Informationen als klassische geodätische Verfahren. Der Nachteil ist der fehlende Bezug zu absoluten Referenzsystemen zur Detektierung langfristiger und großräumiger Veränderungen.

6 Ausblick

Die großen Projekte des Raumbezugs der vergangenen Jahre sind nicht unabhängig voneinander, sondern stehen alle in einem fachlichen Zusammenhang. Dieses lässt sich am besten mit der Darstellung in Abb. 10 beschreiben, die die Idee eines Integrierten Raumbezugs mit verbindenden Elementen aus der Erneuerung des DHHN-Projektes beschreibt (JAHN 2012).

Die geodätischen Netze, Produkte und Dienste sind in unterschiedlicher zeitlicher und fachlicher Tiefe zu aktualisieren und über standardbasierte Dienste im Raumbezug im Sinne einer Raumbezugsinfrastruktur bereitzustellen.

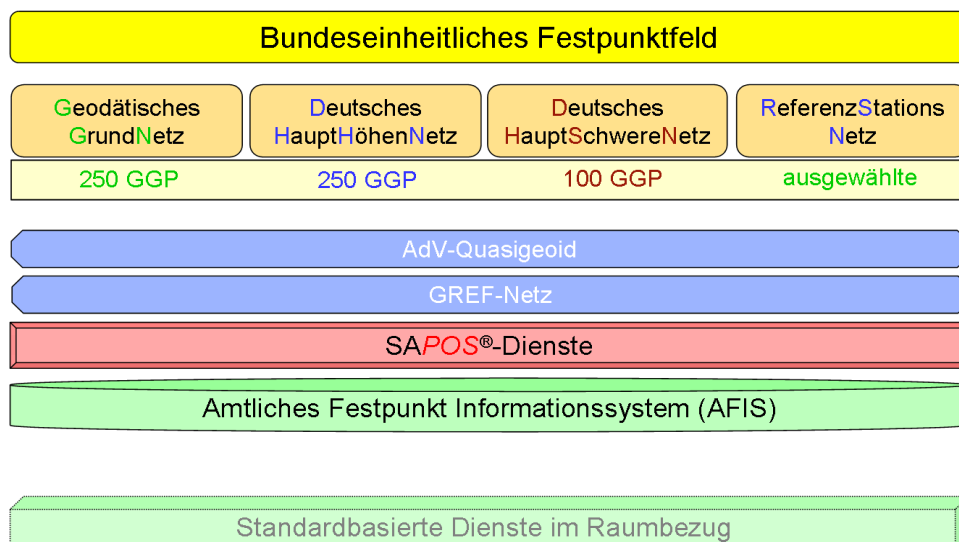


Abb. 10: Integrierter Raumbezug in Deutschland – mit verbindenden Elementen aus dem DHHN-Projekt

Literatur

AdV (2008): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens, URL: <http://www.adv-online.de>.

AdV (2009): Feldanweisung für die Präzisionsnivellements zur Erneuerung und Wiederholung des Deutschen Haupthöhennetzes (DHHN) im Zeitraum 2006 bis 2011. AK Raumbezug, 3. überarbeitete Fassung vom 01.08.2009, URL: <http://www.adv-online.de>.

HECKMANN, B., C.-H. JAHN (2010): Geodätischer Raumbezug. In: Das deutsche Vermessungs- und Geoinformationswesen, Kummer/Frankenberger (Hrsg.), Wichmann Verlag.

- JAHN, C.-H. (2012): Das DHHN-Projekt als Baustein des zukünftigen integrierten Raumbezugs. Vortrag INTERGEO Kongress 2012, 9.-11. Oktober 2012, Hannover.
- JAHN, C.-H., J. RUBACH, C. ELSNER, A. SCHENK, P. WAGENFÜHR, H.-G. DICK, A. BRÜNNER (2011a): Das SA^{POS}[®]-Qualitätsmanagement der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, zfv 3/2011, S. 127-137.
- JAHN C.-H., U. FELDMANN-WESTENDORFF, D. GRÜNER, U. KULLE, P. LEMBRECHT (2011b): Die Erneuerung des Deutschen Haupthöhennetzes in Niedersachsen. In: Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, 4/2011, S. 3-26.
- LIEBSCH, G. (2012a): Das Quasigeoidmodell GCG2011 – die Höhenbezugsfläche der AdV. In: Tätigkeitsbericht 2011/2012 der AdV, S. 11-14, URL: <http://www.adv-online.de>.
- LIEBSCH, G. (2012b): Das Geoid 2015 – Perspektiven für GNSS-Messungen. Vortrag auf dem INTERGEO Kongress 2012, 9.-11. Oktober 2012, Hannover.
- SCHENK, A. (2012): Aktuelles aus dem Bereich SA^{POS}[®] – Einblicke in und aus Niedersachsen, zfv 5/2012, S. 286-298.
- TRIGIS (2011): Bodendeformationsanalyse mittels SAR-Interferometrie. Ergebnisbericht 2011, unveröffentlicht.
- WÜBBENA, G., M. SCHMITZ, A. BAGGE (2005): PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks. Presented at the 18th International Technical Meeting, ION GNSS-05, Sept. 13-16, Long Beach, CA, USA.

Kontakt:

Dr. Cord-Hinrich Jahn

Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN)

- Landesvermessung und Geobasisinformation -

Fachbereich 43 - Landesbezugssystem

Podbielskistraße 331, 30659 Hannover

Tel.: 0511/ 64609 130

Fax: 0511/ 64609 138

E-Mail: cord-hinrich.jahn@lgl.niedersachsen.de

Eine neue Ära der Zentimeter-genauen GNSS-Positionsbestimmung

Lambert Wanninger

1 Einleitung

Die *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS, das existierende US-amerikanische GPS, das existierende russische GLONASS, das im Aufbau befindliche chinesische BeiDou und das im Aufbau befindliche europäische Galileo) stellen Messsignale und gleichzeitig die für eine Positionsbestimmung notwendigen Informationen in der Form der Navigationsnachricht, welche mit denselben Satellitensignalen ausgesendet werden, zur Verfügung. Ähnlich, aber mit anders gewählten Satellitenorbits, arbeiten das im Betrieb befindliche regionale chinesische BeiDou und das zukünftige indische IRNSS. Auch Ergänzungssysteme wie die Satellite Based Augmentation Systems (WAAS, EGNOS, MSAS u. a.) oder das japanische QZSS stellen Messsignale zur Verfügung und zusätzliche Informationen über die GPS-Satelliten, die eine zuverlässigere und genauere Positionsbestimmung ermöglichen. Alle diese Systeme sind für m-genaue Positionsbestimmung auf der Basis von Code-Pseudostreckenmessungen entwickelt und aufgebaut worden.

2 Zentimeter-genaue GNSS-Positionsbestimmung

Höhere Genauigkeiten als die, für die die beschriebenen Navigationssysteme entwickelt wurden, können nur erzielt werden, wenn zum einen die (mehrdeutigen) Phasen-Pseudostreckenmessungen als primäre Beobachtungsgrößen verwendet werden und zum anderen die für die Positionsbestimmung notwendigen Zusatzinformationen in entsprechend hoher Genauigkeit zur Verfügung stehen. Die Erzeugung dieser Informationen setzt ergänzende Infrastruktur in der Form von Referenzstationen voraus. Bei Verwendung der Phasenbeobachtungen sind zwei Lösungsverfahren zu unterscheiden. Bei den *float*-Lösungen werden die Mehrdeutigkeiten geschätzt aber nicht auf ganzzahlige Werte festgesetzt. Diese Lösungen haben als Nachteil lange Konvergenzzeiten von vielen Minuten bis zu Stunden, um cm-Koordinatengenauigkeit zu erzielen. Gelingt dagegen die Festsetzung der Phasenmehrdeutigkeiten, können die hohen Genauigkeiten schneller erreicht werden. Diese Festsetzung gelingt besonders schnell und zuverlässig (auch bei Zweifrequenz-Beobachtungen), wenn lokale Ionosphären- und Troposphäreninformationen vorliegen.

3 Zur Positionsbestimmung notwendige Informationen

Die gemessenen Pseudostrecken (aus Code- oder Phasen-Messungen) werden im Auswertalgorithmus unter Verwendung von Satellitenorbit- und -uhrkorrekturen ausgewertet. Für eine Mehrdeutigkeitsfestsetzung sind weiterhin so genannte *Fractional Cycle Biases* (FCB) notwendig. Dies sind Informationen für jedes Signal, welche die Ganzzahligkeit der Mehrdeutigkeiten herstellen. Wie schon erwähnt wirken sich präzise Ionosphären- und Troposphäreninformationen positiv auf die Mehrdeutigkeitsfestsetzung aus. Alle genannten Informationen können entweder voneinander getrennt (wie im Falle von *Precise Point Positioning*, PPP) oder zusammengefasst als Beobachtungskorrekturen (wie im Falle von Code-DGNSS oder Phasen-RTK) zur Verfügung gestellt werden.

Alle heutigen GNSS stellen solche Informationen nur für die Auswertung von Codebeobachtungen zur Verfügung. Auch in absehbarer Zukunft wird es keine direkte Unterstützung von Phasenauswertungen geben. Die dafür notwendigen Informationen müssen aus weiteren Diensten (z. B. SAPOS) und damit über zusätzliche Kommunikationskanäle bezogen werden.

4 Absehbare Verbesserungen (2013-2020)

Die hauptsächliche Verbesserung für cm-genaue GNSS-Positionsbestimmung zwischen heute und 2020 ist eine quantitative. Die Anzahl aktiver GNSS-Satelliten wird von 83 (Ende 2012) auf voraussichtlich 144 zunehmen (bis 2020, +70 %). Alle weiteren geplanten qualitativen Verbesserungen haben in erster Linie Auswirkungen auf die Nutzer von Code-Beobachtungen und sind für die Nutzer von Phasen-Beobachtungen von untergeordneter Bedeutung (höhere Code-Messgenauigkeit aufgrund verbesserter Signalmodulation, leichte Genauigkeitssteigerung bei Satellitenorbit- und -uhrinformationen, zivile Mehrfrequenzsignale).

5 Wünschenswerte weitere Verbesserungen

Die GNSS-Systeme wären prinzipiell so erweiterbar, dass das Genauigkeitspotenzial der Phasen-Messungen direkt, d. h. ohne weitere Zusatzdienste und ohne weitere Kommunikationskanäle, genutzt werden könnte. Dies würde cm-genaue Satellitenorbit- und -uhrinformationen inklusive FCB voraussetzen. Dieses Ziel ist aber nur erreichbar, wenn eine kontinuierliche Kommunikationsverbindung zwischen Kontrollsegment am Boden und den Satelliten existiert, so dass Echtzeit-Informationen übertragen werden können. Der kontinuierliche Uplink zu den Satelliten in mittelhohen Orbits ist zwar technisch möglich, aber sehr aufwändig und wird deswegen in absehbarer Zeit wohl nicht verwirklicht werden. Auch dann wären weiterhin lokale Ionosphären- und Troposphäreninformationen, die von lokalen/regionalen Diensten bereitgestellt werden müssten, für eine sehr schnelle und zuverlässige Mehrdeutigkeitsfestsetzung notwendig.

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger

Geodätisches Institut

TU Dresden

01062 Dresden

Tel.: 0351/ 463 37503

Fax: 0351/ 463 37201

E-Mail: lambert.wanninger@tu-dresden.de

Die Zukunft der geodätischen Absteckung von Bauwerken

Thomas A. Wunderlich

1 Motivation

Verglichen mit der Aufnahme und der Überwachung führt die Absteckung in der geodätischen Forschung und Lehre eher ein Aschenputteldasein, obwohl sie hoch anspruchsvoll ist. Dafür gibt es vornehmlich zwei Gründe. Zum einen werden Absteckungen bis auf wenige Ausnahmefälle von Ingenieurbüros oder Vermessungsabteilungen von Baufirmen durchgeführt und eine Publikation der Konzepte und Erfahrungen unterbleibt häufig zur Erhaltung von Wettbewerbsvorteilen oder ganz einfach aus Zeitmangel. Die Ausnahmen betreffen Kooperationen mit Universitäten, Baumaschinenherstellern und Produzenten geodätischer Instrumente, um meist sehr ungewöhnliche oder völlig neue Aufgaben gemeinsam zu meistern. Zum anderen aber wird die Absteckung noch immer sehr traditionell als die inverse Aufgabe der Aufnahme gesehen, ohne die geodätischen Fundamentalprozesse mit ihren Wechselwirkungen in einer zeitgemäßen Gesamtsicht neu zu betrachten. Dies soll nun hier geschehen.

2 Zeitgemäße Gesamtsicht der geodätischen Fundamentalprozesse

Traditionell wird als Aufnahme die Abbildung der Realität in ein geometrisches Modell angesehen, die Übertragung eines solchen in die Natur als Umkehrprozess Absteckung. Die wiederholte, bewertete Aufnahme führt zur Aufgabe der Überwachung. Das abzusteckende Modell wird vom Bauingenieur oder vom Architekten in das aufgenommene Modell geplant.

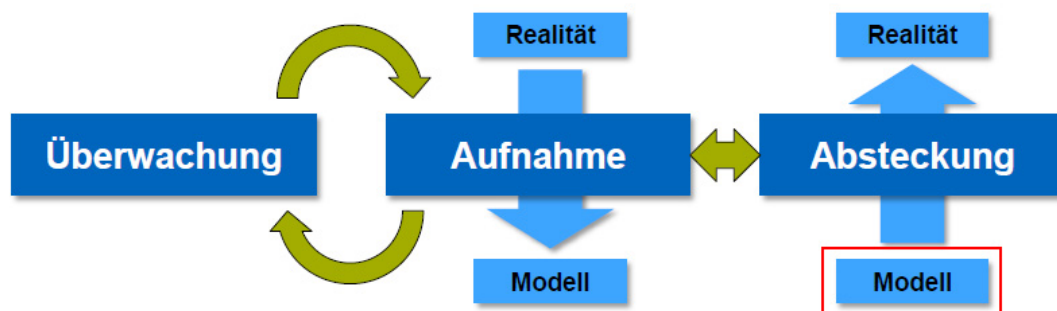


Abb. 1: Die drei geodätischen Fundamentalprozesse der traditionellen Sicht

Demgegenüber sieht der Autor die Absteckung heute als gleichberechtigten, symmetrischen Prozess zur Überwachung und im Zusammenwirken beider den vierten Prozess Navigation. Alle Prozesse basieren auf der Aufnahme als Grundaufgabe, die in verschiedener Frequenz und mit unterschiedlichem Abbruchkriterium wiederholt wird. Das Diagramm in Abb. 2 zeigt die Idee. Wenn wir uns bewusst machen, dass in der Regel die Annäherung an einen abzusteckenden Punkt durch Einweisung eines Messgehilfen mittels wiederholter Aufnahme iterativ erfolgt, so erkennen wir die Analogie zur Überwachung sofort. Unterscheidungsmerkmale präsentieren sich in den grünen und hellblauen Kästchen: Gewöhnlich erfolgt die Wiederholung bei der Überwachung eher in größeren Zeitabständen und bis ein vorgegebener Schwellwert erreicht ist (Alarmkriterium), während der Ablauf bei der Absteckung schnell geschehen muss und bei Unterschreitung einer verabredeten Toleranz abgebrochen wird. Erinnern wir uns an die umwälzende Erweiterung des Leistungsspektrums der satellitengestützten Vermessung, als die Wiederholungsrate der präzisen relativen Punktbestimmung auf Sekundenniveau gedrückt werden konnte (RTK) und damit die bisherige Nutzung für Aufnahme und Überwachung endlich durch das Absteckungspotenzial komplettiert werden konnte. Als weiteres Merkmal kann herangezogen werden, dass sich bei der Überwachung das Objekt, bei der Absteckung das Signal bewegt, zumindest in den gebräuchlichsten Fällen. Lässt man in Erweiterung des Bisherigen das Signal sich mit dem Objekt laufend bewegen, so kommen wir zur modernen Aufgabe der Ingenieurnavigation, sprich der kontinuierlichen Verfolgung und Führung von Objekten wie etwa Baumaschinen durch Zusammenwirken der Überwachung mit der Absteckung in einer kinematischen Form. Ein weiterer Zusammenhang zwischen Überwachung und Absteckung entsteht dort, wo sich ein Objekt während oder zwischen Absteckungsvorgängen selbst bewegt wie etwa beim Hochziehen von Hochhäusern. Zuletzt darf auch die unabhängige Kontrolle der abgesteckten Punkte nicht vergessen werden.

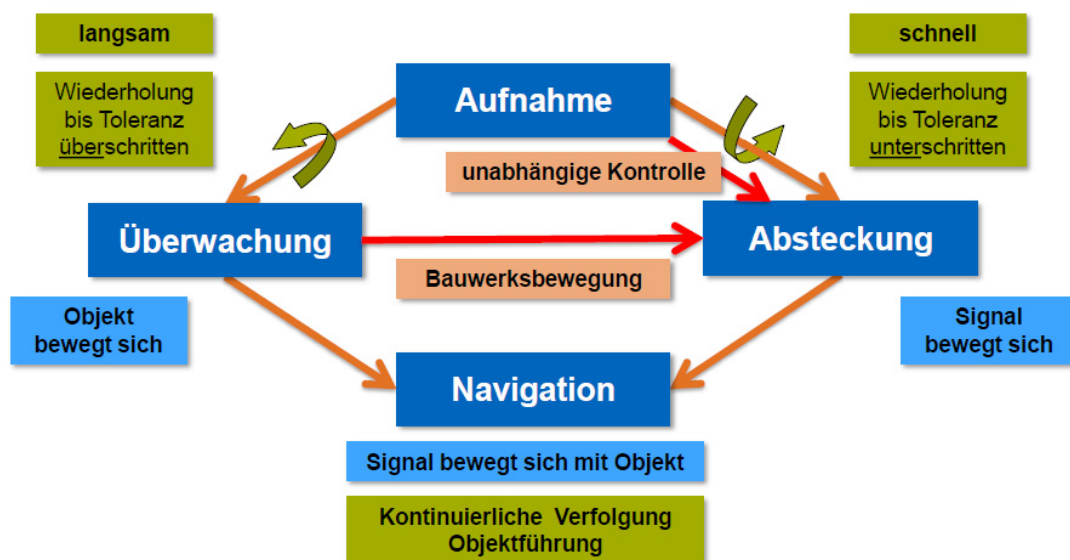


Abb. 2: Erweiterte und zeitgemäße Sicht der geodätischen Fundamentalprozesse und ihrer Wechselwirkungen

Auch wenn das entworfene Konzept nicht universell gültig (z. B. direkte Punktanzeichnung mit RL-EDM ohne Iteration, Fertigteileinrichtung) ist, so erscheint es doch besonders für das Begreifen der fundamentalen Zusammenhänge im Unterricht didaktisch sinnvoll einzusetzen.

3 Ausgewählte Beispiele

Raum und Zeit reichen im Rahmen dieser knappen Veröffentlichung leider nicht aus, die hier neu entwickelten Vorstellungen umfassend mit Beispielen zu illustrieren. Stattdessen sollen drei ausgewählte Überlegungen als Gedankensplitter aktuelle Anregungen geben. Die erste betrifft eine zeitsparende Möglichkeit zur durchgreifenden Kontrolle abgesteckter Punkte, wenn sowohl direkte Sichtverbindung als auch der Empfang von Satellitensignalen in ausreichender Zahl und Qualität möglich ist. Dann kann mit einer Weiterentwicklung kombinierter TPS-GNSS-Instrumente und korrespondierender Rover z. B. die Absteckung mit TPS und simultan die Kontrollaufnahme mittels GNSS erledigt werden, sofern die Transformationsparameter mit der erforderlichen Qualität vorhanden sind; ein klarer Wirtschaftlichkeitsgewinn.



Abb. 3: Absteckung und Kontrolle (Foto: Vermessung ZT Kollenprat, Klagenfurt, 2012)

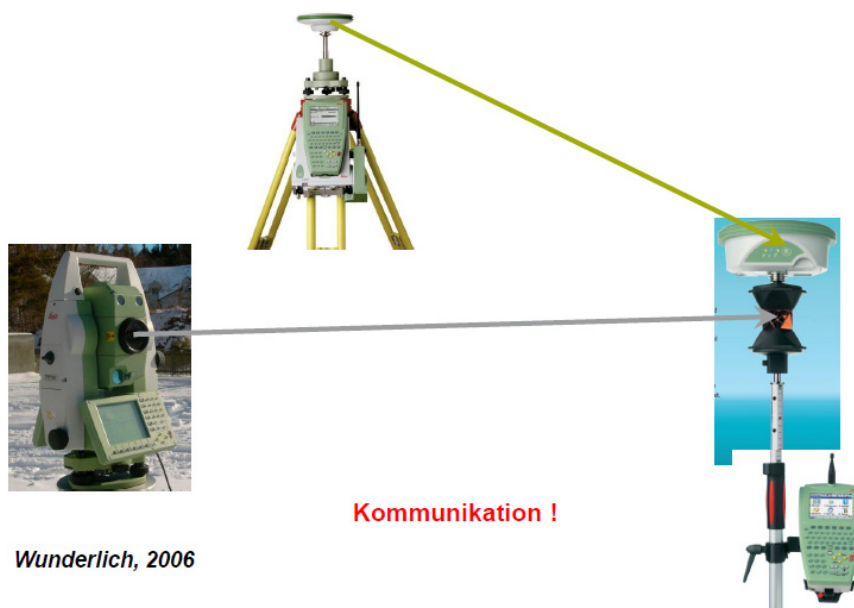


Abb. 4: Simultane Absteckung und Kontrolle am Beispiel von Smart Station und Smart Pole

Das zweite Beispiel zeigt anhand einer besonders anspruchsvollen Absteckungsaufgabe im Hochbau das notwendige Zusammenspiel von Überwachung und Absteckung auf bewegten Plattformen. Beim Bau der Zwillingshochhäuser (Architekten Coop Himmelb(l)au) der Europäischen Zentralbank (EZB) in Frankfurt war es von mehrfacher Bedeutung, die Auswirkung der Bewegungen der Türme auf den Absteckungsprozess laufend zu überwachen. Mehrfach deshalb, weil zu den bekannten Einflüssen durch einstrahlungsbedingte Erwärmung und Winddruck hier speziell ein durch den Entwurf bedingtes Phänomen hinzugetreten ist. Da die horizontalen Schnittfiguren für jeden der beiden Türme mit jeder Etage etwas um die Vertikalachse verdreht angeordnet sind, ändert sich jeweils der Schwerpunkt schrittweise und würde eine Auslenkung verursachen, gegen welche der Bauingenieur vorhält. Die Wirksamkeit der Maßnahme muss vom verantwortlichen Ingenieurgeodäten (Ingenieurgesellschaft Gemmer + Leber mbH, Werneck) laufend geprüft werden, wozu auf der höchsten Plattform ein GNSS-Netzwerk und in drei Ebenen darunter zweiachsige Neigungsmesser installiert und abgefragt wurden. Außerordentlicher Bedarf an den aktuellen Auslenkungsdaten herrschte bei der kritischen Montage ungeheuer schwerer Verbindungstraversen und deren Einpassung in die zuvor abgesteckten Lager (siehe Abb. 5).



Abb. 5: Die tordierenden Zwillingtürme der EZB in Frankfurt
(Foto: Walter Wunderlich)

Wir müssen bei der Absteckung jedoch nicht immer an vermarkte Punkte oder eingerichtete Bauteile denken, wie das abschließende Exempel verständlich machen soll. Das heutige Potenzial der „Augmented Reality“ lässt zu, ein Überlagern visualisierter Fachinformation über eine vor Ort betrachtete echte Szene zu realisieren. Abbildung 6 zeigt einen solchen Ansatz im Tunnelbau aus einem Forschungsprojekt der Geodata Group (CHMELINA 2012), bei dessen Anwendung das abzusteckende Modell (z. B. das geplante Spreng- und Ankerschema) durch Verwendung visueller Ausgabegeräte (head-mounted displays) an lagerichtiger Position gesehen wird. Position und Raumlage des transparenten Visiers müssen laufend erfasst werden.



Abb. 6:
Absteckung von Information als
Überlagerung der Realität
(Geodata ZT GmbH, 2012)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Absteckung von Bauwerken ist faktisch eine exklusive Aufgabe der Ingenieurgeodäsie und sollte als solche zeitgemäß in ihrer Wechselwirkung mit den anderen geodätischen Fundamentalaufgaben begriffen werden. An drei ausgewählten Beispielen ist gezeigt worden, wie Aufnahme, Überwachung, Absteckung und Navigation miteinander zusammenhängen. Nicht nur die immer kühneren Herausforderungen der Realisierung moderner Bauwerke, sondern auch die beschleunigten, hochmechanisierten Bauabläufe und empfindlich enge vorgegebene Toleranzen sowie die Einrechnung aus Bauwerksinformationssystemen erfordern es, der Absteckung in der Forschung viel mehr Aufmerksamkeit zu widmen als bisher.

Literatur

- CHMELINA, K. (2012): Informationssystem-Entwicklung für die Neue Österreichische Tunnelbauweise; Folienskript im Rahmen der Vortragsreihe „Sensorgestützte und mobile Informationssysteme“, Lehrstuhl für Geodäsie, Technische Universität München.
- WUNDERLICH, TH. (2006): Gesucht: Kompetenz vor Ort – Operative Geodäten 2006; Festschrift „125 Jahre Geodäsie und Geoinformatik“, Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, Nr. 263, Hannover.
- WUNDERLICH, TH. (2006): Automatic Operation of Total Stations – Various Project Experiences; invited professional lecture, script, Technical University Zagreb.



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Wunderlich

Lehrstuhl für Geodäsie
Technische Universität München
80290 München
Arcisstraße 21
Tel.: 089/ 289 22850
Fax: 089/ 289 23967
E-Mail: th.wunderlich@bv.tum.de

1974-1979

Studium des Vermessungswesens an der TU Wien

1983

Promotion zum Dr. techn. an der TU Wien

1992

Habilitation für das Fach „Angewandte Geodäsie“
an der Universität Hannover

seit 2000

Ordinarius für Geodäsie an der TU München

seit 2009

Ständiger Sekretär der Deutschen Geodätischen
Kommission der Bayer. Akad. d. Wissenschaften

Auszeichnungen und Mitgliedschaften:

- | | |
|-------|--|
| 2002: | Hopfner-Medaille der ÖGK |
| 2004: | Korrespondierendes Mitglied der ÖGK |
| 2008: | Mitglied der Bayerischen Kommission
für die Internationale Erdmessung |
| 2008: | Ehrenmedaille der Fakultät für Bau-
ingenieurwesen der STU Bratislava |
| 2010: | Ehrenprofessur an der UPT Timisoara |
| 2013: | Goldmedaille „For a Fair World“ des
Förderkreises Bodenordnung u. Land-
entwicklung München e.V. |

Einsatz innovativer Sensoren in der Geodäsie

Andreas Eichhorn

1 Einleitung

Ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, können wichtige aktuelle Forschungsthemen der Ingenieurgeodäsie in die nachfolgenden Bereiche eingeteilt werden, wobei zwischen diesen starke Wechselwirkungen bestehen:

- > (Geo-)Sensornetzwerke
- > Multi-Sensor-Systeme
- > Automatisierte Aufnahme- und Absteckungsprozesse
- > Modellierung von Deformationsprozessen
- > Entwicklung von Frühwarnsystemen
- > Indoor-Positionierung

...

Eine wesentliche Gemeinsamkeit der o. g. Themenbereiche liegt darin begründet, dass neben der „klassischen“ Betrachtungsweise ohne einen expliziten Zeitbezug zunehmend auch die zeitreferenzierten Veränderungen des Zustands des jeweils betrachteten Messobjekts (z. B. der Baumaschine, des Bauwerks oder des Rutschhanges) von Interesse sind, welche sich in translatorischen und rotatorischen (Starrkörper-)Bewegungen aber auch in Verformungen äußern können. Damit ist die punktweise, aber zunehmend auch flächenhafte messtechnische Erfassung und Auswertung von zeitveränderlichen Prozessen von zentraler Bedeutung.

Bei der Beschreibung zeitveränderlicher Prozesse sind zwei grundlegende Betrachtungsweisen möglich (s. auch WELSCH et al. 2000 und HEUNECKE et al. 2013). Die kinematische Betrachtungsweise, bei der die Zustandsänderung des Messobjekts rein deskriptiv beschrieben wird, ohne explizit nach den Ursachen (Einflussgrößen) zu fragen bzw. diese messtechnisch zu erfassen und die dynamische Betrachtungsweise, bei der die für die Zustandsänderung ursächlichen Einflussgrößen explizit ins Kalkül gezogen und zumeist auch (zumindest indirekt) messtechnisch erfasst werden. Die dynamische Betrachtungsweise ermöglicht damit die Formulierung von kausalen Auswertemodellen.

Der Einsatz von moderner und innovativer Sensorik in der Ingenieurgeodäsie wird durch die Aufgabenstellung der Erfassung zeitveränderlicher Prozesse einhergehend mit den o. g. Betrachtungsweisen stark beeinflusst.

2 Einsatz innovativer Sensorik

Der Einsatz von moderner Sensorik ist geprägt durch die zunehmenden Anforderungen an die räumliche und die zeitliche Auflösung. In der Ingenieurgeodäsie sind heute Messraten erforderlich, welche sich über eine sehr große Zeitspanne erstrecken, von $\Delta t < 0,01$ s bis zu Monaten oder Jahren. Die Größe von Messobjekten umfasst wenige Zentimeter bis zu einigen Kilometern, und dies bei höchsten Genauigkeitsanforderungen im mm- oder z. T. sogar sub-mm-Bereich. Scannende Sensoren (z. B. terrestrische Laserscanner oder terrestrische Radarsysteme) werden zur profil- und flächenhaften Objektvermessung und -überwachung eingesetzt und treten zunehmend in Konkurrenz zur Einzelpunktvermessung mit Tachymetern. In Abb. 1 ist ein Überblick über wichtige moderne geodätische Sensoren dargestellt.

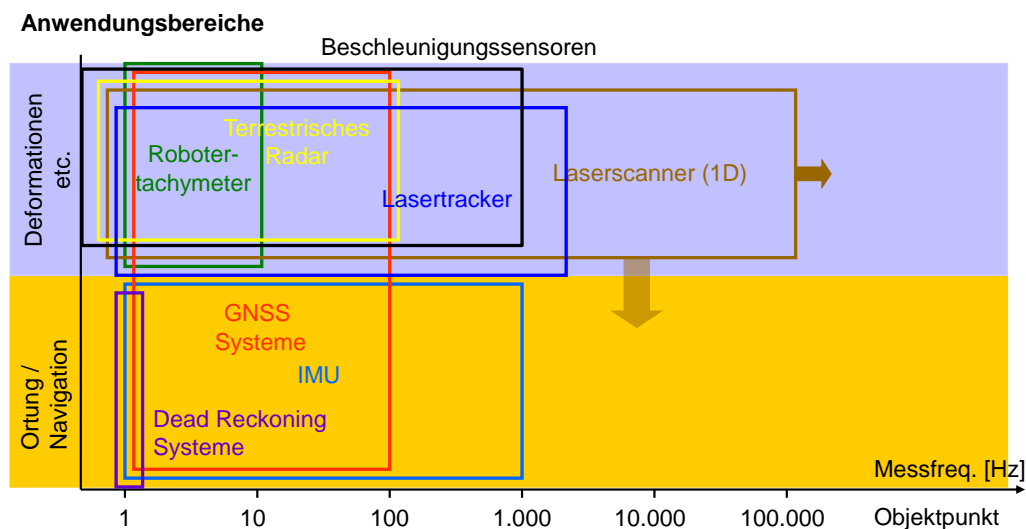


Abb. 1: Übersicht über moderne geodätische Sensoren.

Aktuelle Trends in der Sensorik sind neben der Weiterentwicklung von profil- und flächenhaften Messverfahren vor allem gegeben durch die Entwicklung von Hybridtechnologien (z. B. die Image Assisted Total Station (IATS), welche die Nutzung eines kamerabasierten Systems zum automatisierten Auffinden von natürlichen Objektpunkten mit der Funktionsweise eines Tachymeters kombiniert, u. a. REITERER 2005), die Nutzung von Beschleunigungssensoren (z. B. im Bereich des Structural Health Monitorings) und MEMS (Mikro-Elektro-Mechanische Systeme) auf Multi-Sensor-Plattformen und durch die Einbettung von Sensoren in die Bauwerksstruktur (z. B. faseroptische Sensoren), zur Messung von inneren Verformungen als Grundlage für eine integrierte Auswertung (u. a. LIENHART 2007).

Im Folgenden werden zwei Anwendungsbeispiele für den Einsatz von innovativer Sensorik vorgestellt.

3 Ausgewählte Anwendungsbeispiele

Das Untersuchungsobjekt des Forschungsprojekts KASIP (Knowledge-based Alarm System with Identified Deformation Predictor, u. a. SCHMALZ et al. 2010) ist die Massenbewegung „Steinlehnen“ bei Gries im Sellrain in Nordtirol (Abb. 2). Im Sommer 2003 haben sich Hangbereiche innerhalb weniger Monate bis zu 25 m talwärts bewegt und dadurch eine Serie von

Felssturzereignissen ausgelöst. Aufgrund der Gefährdung anliegender Häuser und einer Bundesstraße wurde die Installation eines Monitoringsystems als notwendig erachtet. Wegen der anhaltenden Felssturzereignisse erfolgte die Überwachung zu Beginn mit einem terrestrischen Laserscanner. Erst nach Rückgang der Bewegungen wurden im Hang Reflektoren angebracht, die seitdem vom Gegenhang in unregelmäßigen Zeitschritten ($\Delta t = 1$ Monat bis zu 1 Jahr) mittels Tachymetermessungen überwacht werden. Im Frühjahr 2004 kam es wiederum zu einer Beschleunigung der Bewegungen, die binnen eines halben Jahres zu Verschiebungen von mehreren Metern führten. In den letzten Jahren hat sich die Bewegung des Hanges näherungsweise stabilisiert und bewegt sich derzeit mit einer konstanten Bewegungsrate von bis zu 25 cm pro Jahr talwärts (EICHHORN 2012).



© Rödelberger 2011

Abb. 2: Monitoringsystem IBIS-L an der Massenbewegung Steinlehen.

Ein wesentlicher Nachteil der Tachymetermessungen ist die nur punktweise Adaptierung der Prismen. Die erfassten Oberflächenpunkte sind zudem nicht gleichmäßig über den Hang verteilt und somit nicht repräsentativ für die Bewegung aller Teilschollen der Massenbewegung. Eine flächenhafte Adaptierung ist aus Gründen der ständigen Felssturzereignisse nicht möglich. Des Weiteren werden die Tachymetermessungen nur in sehr großen Zeitabständen durchgeführt, wodurch plötzliche Beschleunigungen/Verzögerungen der Massenbewegung z. B. aufgrund veränderter meteorologischer Bedingungen nicht erfasst werden können.

Ein geeignetes Monitoringsystem muss die Massenbewegung daher berührungslos, flächenhaft, mit hoher Genauigkeit und hoher zeitlicher Auflösung erfassen. Diese Anforderungen werden durch den Einsatz eines terrestrischen Radarsystems erfüllt. In Abb. 2 ist das Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) des Instituts für Physikalische Geodäsie der TU Darmstadt dargestellt. Es handelt sich um das System IBIS-L, welches auf einer festen Basis verfährt und damit 2D-Interferogramme von der Oberfläche eines Messobjekts erzeugt. Das System hat eine zeitliche Auflösung von $\Delta t \approx 6-7$ Minuten und kann bei einer maximalen Reichweite von 4 km Bewegungen im mm-Bereich signifikant detektieren. Eine detaillierte Beschreibung der Radarinterferometrie ist in RÖDELSPERGER et al. (2010) und RÖDELSPERGER (2011) zu finden.

Im Rahmen von zwei jeweils vierwöchigen Messkampagnen wurde das System IBIS-L im Frühsommer 2010 und 2011 zur Beobachtung der Massenbewegung „Steinlehen“ eingesetzt (Abb. 2). In Abb. 3 sind für die Messkampagne 2010 exemplarisch die über 10,5 Tage aufintegrierten flächenhaft erfassten Verschiebungen der Oberflächenstruktur des Hanges dargestellt. Es treten hierbei Massenakkumulationen von bis zu 10 mm auf (tiefblaue Bereiche), s. auch EICHHORN (2012).

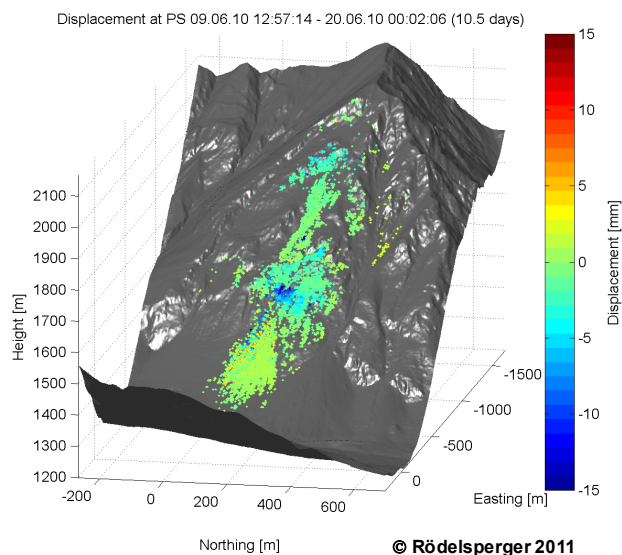


Abb. 3: Über 10,5 Tage aufintegriertes flächenhaftes Verschiebungsbild.

Ein Beispiel für die Überwachung eines Bauwerks mit Beschleunigungssensoren ist die derzeitige Entwicklung eines neuartigen Monitoringsystems zur Kontrolle und Korrektur der mittels GNSS-Tidegauges durchgeführten Pegelmessungen im Küstenbereich.

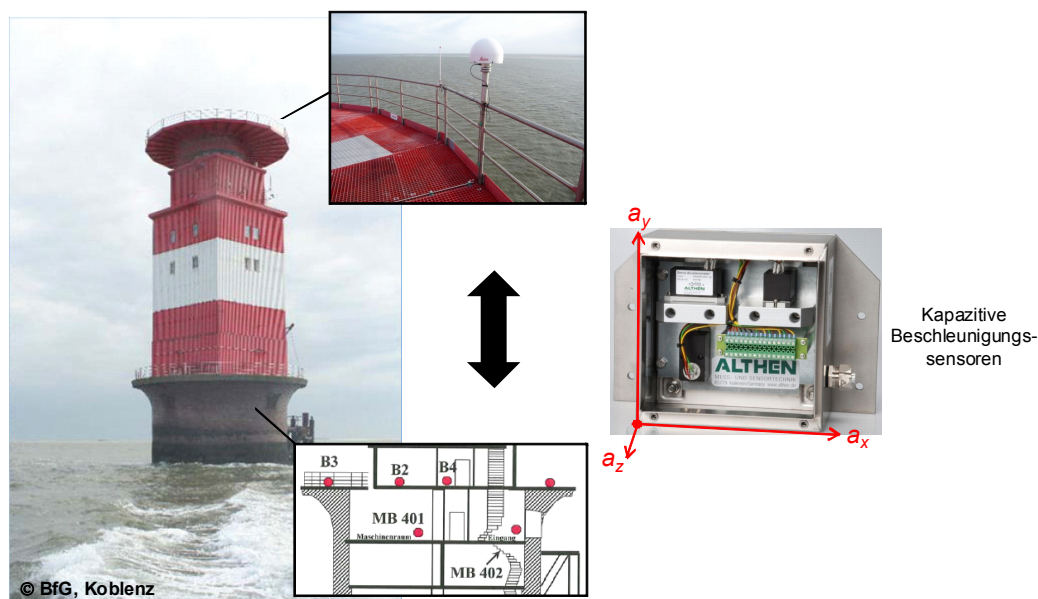


Abb. 4: Geplantes, auf Beschleunigungssensoren basierendes Monitoringsystem am Leuchtturm Mellumplate.

Bei dem in Kooperation zwischen der Bundesanstalt für Gewässerkunde und dem Institut für Geodäsie der TU Darmstadt durchgeführten Forschungsprojekt geht es darum, an einem messtechnisch schwer zugänglichen Leuchtturm (Leuchtturm „Mellumplate“, s. Abb. 4) die kurz- und langfristige Bewegung (z. B. Schwingungen, Neigungen) der Hubschrauberplattform und damit der dort installierten GNSS-Antenne relativ zum Wasserstandsmesspegel im Sockelbereich des Leuchtturms zu erfassen, und diese (falls notwendig) als Korrekturterm an die GNSS-Zeitreihe anzubringen. Hierdurch soll eine Trennung der durch die GNSS-Antenne zu detektierenden absoluten Bewegung des Messpegels (z. B. durch Setzung des Leuchtturms) von einer durch die Bauwerksverformung induzierten scheinbaren Bewegung erfolgen. Ein Teil des Monitoringsystems besteht aus einer mit drei kapazitiven Beschleunigungssensoren bestückten Sensorplattform (Abb. 4), welche sowohl Schwingungen als auch Veränderungen der Neigung der Hubschrauberplattform erfassen kann. Besondere Herausforderungen sind hierbei die Ableitung der zeitlichen Veränderung des Raumvektors zwischen der GNSS-Antenne und dem Messpegel, das hierfür erforderliche Langzeitmonitoring und die zur Begrenzung des Datenvolumens erforderliche Event-getriggerte Aufzeichnung der Messdaten.

Literatur

- EICHHORN, A. (2012): KASIP – Monitoring System und numerisches Modell für Rutschhänge. In: NIEMEIER, W. / RIEDEL, B. / LEHMANN, M. (Hrsg.): GeoMonitoring 2012, 219-226.
- HEUNECKE, O., H. KUHLMANN, W. WELSCH, A. EICHHORN, H. NEUNER (2013): Auswertung geodätischer Überwachungsmesungen – 2. Auflage. Handbuch der Ingenieurgeodäsie, Wichmann, Heidelberg, im Druck.
- LIENHART, W. (2007): Analysis of Inhomogeneous Structural Monitoring Data. Dissertation, TU Graz, Shaker Verlag.
- REITERER, A. (2005): Knowledge-Based Decision System for an On-line Videotheodolite-based Multisensor System. Dissertation, Geowissenschaftliche Mitteilungen der TU Wien, Heft 72.
- RÖDELSPERGER, S., G. LÄUFER, C. GERSTENECKER, M. BECKER (2010): Terrestrische Mikrowelleninterferometrie – Prinzip und Anwendungen. In: AVN, 10/2010, 324-333.
- RÖDELSPERGER, S. (2011): Real-time Processing of Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) Measurements. Dissertationsschrift, Schriftenreihe der Fachrichtung Geodäsie an der TU Darmstadt, Heft 33, TU Darmstadt.
- SCHMALZ, T., A. EICHHORN, K. MAIR AM TINKHOF, A. PREH, E.-H. TENTSCHERT, C. ZANGERL (2010): Untersuchungen zur Implementierung eines adaptiven Kalman-Filters bei der Modellierung instabiler Talflanken mittels des Finite-Differenzen-Codes FLAC3D. In: WUNDERLICH, T. (Hrsg.): Beiträge zum 16. Internationalen Ingenieurvermessungskurs München, Wichmann, 255-265.
- WELSCH, W., O. HEUNECKE, H. KUHLMANN (2000): Auswertung geodätischer Überwachungsmesungen. Handbuch der Ingenieurgeodäsie, Wichmann, Heidelberg.



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Eichhorn

TU Darmstadt

Institut für Geodäsie

Petersenstrasse 13

64287 Darmstadt

Tel.: 06151/ 16 2147

Fax: 06151/ 16 4047

E-Mail:

eichhorn@geod.tu-darmstadt.de

1990-1996

Studium des Vermessungswesens an der Universität Karlsruhe (TH)

1996-2003

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (IAGB), Uni Stuttgart

2003-2008

Universitätsassistent (PostDoc) am Institut für Geodäsie und Geophysik, FG Ingenieurgeodäsie der TU Wien

Seit 2008

Universitätsprofessor am Institut für Geodäsie, TU Darmstadt

Leiter des FG Geodätische Messsysteme und Sensorik

In der Reihe BfG-Veranstaltungen sind bisher u. a. erschienen:

- | | |
|--------|--|
| 1/2007 | Höhenmessungen mit GPS – Status quo und Entwicklungstendenzen |
| 2/2007 | Röhricht an Bundeswasserstraßen (im norddeutschen Raum) |
| 1/2008 | Neue Wege der Schadstoffbekämpfung |
| 2/2008 | Ultraschall in der Hydrometrie: neue Technik – neuer Nutzen? |
| 3/2008 | Effektive und qualitätsgesicherte Abwicklung von Sediment-/Baggergutuntersuchungen in der WSV |
| 4/2008 | Saisonale Vorhersagesysteme in Meteorologie und Hydrologie |
| 5/2008 | Umweltaspekte des Einsatzes von industriell hergestellten Wasserbausteinen in Bundeswasserstraßen |
| 6/2008 | Wasserbewirtschaftung und Niedrigwasser |
| 1/2009 | Wasserstandsinformationsdienste der BfG für die Bundeswasserstraßen |
| 2/2009 | Sediment Contact Tests. Reference conditions, control sediments, toxicity thresholds |
| 3/2009 | Sedimentologische Prozesse – Analyse, Beschreibung, Modellierung |
| 4/2009 | Ingenieurvermessung im Bauwesen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung |
| 5/2009 | Verfahren der ökotoxikologischen (Risiko-) Bewertung in der Umweltsicherung |
| 6/2009 | Softwarelösungen für ein integriertes Hochwassermanagement |
| 7/2009 | Aspekte des Schadstoffmonitorings an Schwebstoffen und Sedimenten in der aquatischen Umwelt |
| 1/2010 | Flusssysteme in Raum und Zeit |
| 2/2010 | Berücksichtigung verkehrs- und bautechnischer Emissionen und Immissionen in Umweltverträglichkeitsprüfungen |
| 3/2010 | Pathogene Vibrionen in der marinen Umwelt |
| 4/2010 | Riskobewertung stofflicher Belastungen |
| 5/2010 | Screeningverfahren zur Erfassung endokriner Wirkungen in der aquatischen Umwelt |
| 1/2011 | Erfassung und Bewertung des hydromorphologischen Zustands in Wasserstraßen |
| 2/2011 | Umweltauswirkungen von Wasserinjektionsbaggerungen |
| 3/2011 | Zeitgemäße Erfassung und Bereitstellung von Geobasisdaten für die WSV |
| 4/2011 | EurAqua Symposium Impact of climate change on water resources – 200 years hydrology in Europe – a European perspective in a changing world |
| 5/2011 | Schadstoffdynamik in Flussgebieten – Ursachen, Wirkungen und Konsequenzen stofflicher Veränderungen in Raum und Zeit |
| 1/2012 | Partikuläre Stoffströme in Flusseinzugsgebieten |
| 2/2012 | Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz eines Informationssystems und verschiedener Modelle |
| 3/2012 | Dynamik des Sedimenthaushaltes von Wasserstraßen |
| 4/2012 | Pathogenic <i>Vibrio</i> spp. in Northern European Waters |
| 5/2012 | Baumaterialien und Oberflächengewässer |
| 6/2012 | Hydro-ökologische Modellierungen und ihre Anwendungen |
| 7/2012 | Monitoring, Funktionskontrollen und Qualitätssicherung an Fischauftiegsanlagen. 2. Kolloquium zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen |
| 1/2013 | Wissen was war ... – Rückblick auf hydrologische Extreme |
| 2/2013 | Die Bundeswasserstraßen im Blickfeld ökologischer Zielsetzungen gemäß WRRL – Erreichtes und Erreichbares |
| 3/2013 | Geomorphologische Prozesse unserer Flussgebiete |
| 4/2013 | FLYS goes WEB: Eröffnung eines neuen hydrologischen Fachdienstes in der BfG |
| 5/2013 | Neue Entwicklungen in der Gewässervermessung |
| 6/2013 | Die Zukunft des Wasserhaushaltes im Elbeinzugsgebiet / Budoucnost vod-ního režimu v povodí Labe |
| 7/2013 | Bioakkumulation in aquatischen Systemen: Methoden, Monitoring, Bewertung |